



Aalto-yliopisto
Insinööritieteiden korkeakoulu

Heli Hakamäki

Toteutustavan vaikutus ulkovaipparakenteen sisäpinnan ilmavuototiivistysten pysyvyyteen

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi
diplomi-insinöörin tutkintoa varten.

Espoossa 1.10.2015

Valvoja: Professori Jarek Kurnitski

Ohjaajat: DI Ilkka Jerkku ja TkT Esko Sistonen

| | | | |
|---|--|-------------------------|--|
| AALTO-YLIOPISTO INSINÖÖRITIEIDEIN KORKEAKOULU PL 12100, 00076 Aalto http://www.aalto.fi | | DIPLOMITYÖN TIIVISTELMÄ | |
| Tekijä: Heli Hakamäki | | | |
| Työn nimi: Toteutustavan vaikutus ulkovaipparakenteen sisäpinnan ilmavuototiivistysten pysyvyyteen | | | |
| Tutkinto-ohjelma: Rakenne- ja rakennustuotantotekniikka | | | |
| Pää-/sivuaine: Rakennusmateriaalit ja rakennusfysiikka/Rakentamistalous | | | |
| Professuuri: Talonrakennustekniikka | | Koodi: Rak-43 | |
| Työn valvoja: Professori Jarek Kurnitski Työn ohjaajat: DI Ilkka Jerkku ja TkT Esko Sistonen | | | |
| <p>Tutkimuksen käynnisti tarve selvittää sisäilmaongelmaisiin rakennuksiin tehtävien sisäpuolisten ilmavuototiivistysten pitkäaikaiskestävyyttä. Taustalla oli epäily siitä, että korjaustoimenpiteillä ei saavuteta pysyvää ilmatiiviyttä, vaan tiivistykset alkavat ajan myötä vuotaa. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, millaista pitkäaikaiskestävyyttä tiivistyksiltä voidaan odottaa. Lisäksi tavoitteena oli selvittää, miten toteutustavalla voitaisiin vaikuttaa siihen, että tiivistykset kestäisivät ilmatiiviinä mahdollisimman pitkään.</p> <p>Tiivistysten onnistumiseen ja epäonnistumiseen johtaneiden syiden kartoittamiseksi tutkittiin 1–4 vuotta vanhojen ilmavuototiivistysten nykykuntoa ja tiiviyttä. Lisäksi tiivistysmateriaalien ja tyyppillisten tiivistettävien rakenteiden alustapintojen välisiä tartuntavetolujuuksia tutkittiin laboratorio-olosuhteissa tehdyistä koepinnoituksista. Pinnoitukset tehtiin noudattaen alustan käsittelyssä ja tiivistysmateriaalien asennuksessa tiivistysmateriaalien valmistajien tarjoamia ohjeita. Osa pinnoituksista tehtiin vertailun vuoksi ohjeista poiketen. Tutkimuksen tiivistysmateriaalit olivat muovi- ja epoksinpinnoitteita, vedeneristemassoja, joustavia teippejä ja vahvikekankaita. Alustapintoina olivat betoni, sementtipohjainen tasoite, huokoinen seinätasoite, höylätty puu, maalattu puu, höyrynsulkumuovi sekä muovimatto. Erilaisia tiivistysmateriaali-alusta-yhdistelmiä oli kaikkiaan 30. Tiivistysmateriaalien ja alustojen väliset tartuntavetolujuudet mitattiin irtivetolaitteella kaikista muista paitsi höyrynsulkumuoville ja muovimatolle tehdyistä pinnoituksista, joita tutkittiin aistinvaraisesti.</p> <p>Vanhoja tiivistyksiä tutkittiin seitsemässä rakennuksessa tehden yhteensä 26 rakenneavausta ilmatiiviystutkimuksineen. Ilmatiiviystutkimukset tehtiin rikkiheksafluoridimerkkiaineella. Tulokset osoittivat, että kaikki oikein tehdyt pinnoitukset olivat tiiviitä ja lujasti kiinni alustassaan, kun taas väärin tehdyt olivat irtoilleet tai vuotivat muista syistä. Tartuntavetolujuustarkastelut puolestaan osoittivat, että tiivistysmateriaaleilta voidaan ainakin vasta asennettuina odottaa huomattavasti parempaa tartuntaa alustaan kuin mitä vanhoilla tiivistyksillä tutkimushetkellä oli.</p> <p>Koska täysin oikein toteutettuja tiivistyksiä löydettiin vain yksi, tutkimuksen perusteella ei voida tehdä tiivistysten pitkäaikaiskestävyydestä pitkälle meneviä päätelmiä. Voidaan todeta, että tietyissä olosuhteissa ja tietyillä materiaaleilla tiiviys on mahdollista saavuttaa ainakin kolmen vuoden ajaksi. Lisäksi voidaan todeta, että alustan käsittelyllä on suuri merkitys sille, miten hyvin tiivistysmateriaali kiinnittyy alustaan. Paras tartunta alustaan saavutetaan, kun tiivistysmateriaalien asennuksessa noudatetaan tiivistysmateriaalivalmistajan ohjeita.</p> | | | |
| Päivämäärä: 1.10.2015 | | Kieli: suomi | |
| | | Sivumäärä: 87 | |
| Avainsanat: tiivistys, ilmavuoto, ilmavuototiivistys, tiivistyskorjaus, rikkiheksafluoridi, merkkiaine | | | |

| | | | |
|--|--|---------------------------------|--|
| AALTO UNIVERSITY SCHOOL OF ENGINEERING PO Box 12100, FI-00076 AALTO http://www.aalto.fi | | ABSTRACT OF THE MASTER'S THESIS | |
| Author: Heli Hakamäki | | | |
| Title: The effect of installation methods on the durability of air-sealings on the inner surface of a building envelope | | | |
| Degree Programme: Structural Engineering and Building Technology | | | |
| Major/Minor: Building Materials and Building Physics/Building Economics | | | |
| Professorship: Building Construction Engineering | | Code: Rak-43 | |
| Supervisor: Professor Jarek Kurnitski Instructors: M.Sc. (Tech.) Ilkka Jerkku and D.Sc. (Tech.) Esko Sistonen | | | |
| <p> This research was initiated by the need to study the long-term durability of air leakage sealings related to indoor air quality renovations. It was suspected that the sealings cannot be used for achieving permanent airtightness for structures because they are prone to start leaking over time. The primary goal was to determine the kind of durability that can be expected from air sealings. An additional goal was to determine the best manner to install the sealings ensuring the maximum period of durability. </p> <p> The current state and airtightness of sealings made one to four years ago were studied in order to examine the reasons that lead to success or failure in terms of long-term durability. In addition, the tensile adhesion properties of typical sealing materials were studied by installing them on structures that typically need sealing. The manufacturers' instructions for sealing materials were followed when installing the sealings. Some of the sealings were installed in a different way for comparison. The sealing materials studied included: water proofing pastes, epoxy resins, plastic coatings, fabric bands and butyl rubber tapes. The materials onto which they were applied to were: concrete, cementitious subfloor levelling compound, porous wall filler, planed wooden board, painted planed wooden board, plastic vapour barrier, and plastic floor membrane. A total of 30 different combinations of these materials and sealing materials were formed. The tensile adhesion strengths were tested by a pulling test for all combinations, except the ones where the sealing material was applied to a plastic vapour barrier and plastic floor membrane. These combinations were manually examined. </p> <p> The old sealings were studied in seven different buildings by making 26 structural openings. The airtightness was measured by a gaseous sulphur hexafluoride tracer. The results showed that all the sealings that were installed correctly retained a good adhesion to the surface, whereas the ones that were installed incorrectly did not, or they leaked due to other reasons. The tests that were carried out to study the tensile adhesion properties showed that a much stronger adhesion can be expected of newly installed sealings than what was found studying the old, incorrectly installed air sealings. </p> <p> Advanced conclusions on the long-term durability of air leakage sealings cannot be made based on this research, as only one correctly installed air leakage sealing was found. However, it can be stated that with certain materials and certain circumstances, it is possible for the sealing to last for at least three years. Furthermore, the results indicate that the best long-term durability for sealings is achieved when the manufacturers' instructions for the sealing materials are carefully followed in the installation process. </p> | | | |
| Date: 1.10.2015 | | Language: Finnish | |
| | | Number of pages: 87 | |
| Keywords: air-sealing, air leakage, airtightness, sulphur hexafluoride tracer | | | |

Alkusanat

Tämä diplomityö on tehty Sweco Asiantuntijapalvelut Oy:n toimeksiannosta. Kiitän Swecoa mielenkiintoisesta aiheesta ja työn rahoittamisesta.

Työhön osallistui myös Vantaan kaupunki, joka tarjosi tutkimukselle aineiston ja vastasi kohteisiin tehtyjen rakenneavausten korjaamisesta. Vantaan kaupungin ansiosta kohteissa tehtyjä tiivistyksiä voitiin tutkia perusteellisemmin kuin muuten olisi ollut mahdollista. Tästä kiitos Vantaan kaupungille ja työn suunnitteluun ja toteutukseen osallistuneelle Tilakeskuksen henkilökunnalle.

Tiivistysmateriaalit tartuntavetolujuustutkimuksia varten saatiin Ardex Oy:ltä, Betton Oy:ltä ja TKR-Marketing Oy:ltä. Kiitän heitä yhteistyöstä ja halusta osallistua tutkimukseen.

Työn ohjasivat DI Ilkka Jerkku ja TkT Esko Sistonen sekä valvoi professori Jarek Kurnitski. Kiitos ohjauksesta työn kaikissa vaiheissa.

Häämöttävästä valmistumisestani kiitän Rakennusinsinöörikiltaa ja sen lukuisia jäseniä, joita ilman opiskelu olisi ollut paljon vaikeampaa, ja jotka tekivät menneistä kuudesta vuodesta Otaniemessä elämäni hauskimmat ja parhaimmat.

Suurin kiitos kuuluu Pepan Petonin teekkareille, jotka opettivat minulle mitä hienoimman matkan varrella kaiken oleellisen elämästä ja rakentamisesta. Niillä opeilla tämäkin urakka saatiin hoidettua.

Lopuksi kiitos vanhemmilleni tuesta opintojen aikana sekä kaikesta kannustuksesta muulle lähipiirille, erityisesti Antille.

Espoossa 1.10.2015

Heli Hakamäki

Sisällysluettelo

| | |
|---|----|
| Sisällysluettelo | 1 |
| Merkinnät | 3 |
| Lyhenteet | 4 |
| 1 Johdanto | 5 |
| 1.1 Tausta | 5 |
| 1.2 Tavoitteet ja rajausta | 6 |
| 1.3 Työn rakenne | 7 |
| 2 Ulkovaipparakenteiden ilmatiiviyden merkitys | 8 |
| 2.1 Höyrynsulku ja ilmansulku | 8 |
| 2.2 Rakennuksen energiankulutus | 9 |
| 2.3 Ilmanvaihto ja rakennuksen paine-erot | 10 |
| 2.4 Ilmatiiviyden vaikutus sisäilmastoon | 11 |
| 3 Ilmavuototiivistykset osana sisäilmastoteknisiä korjauksia | 15 |
| 3.1 Ilmavuototiivistysten toteutus | 15 |
| 3.1.1 Ilmavuototiivistysten periaate | 15 |
| 3.1.2 Ilmavuototiivistyksen soveltuvuus korjaustavaksi | 15 |
| 3.1.3 Rakenteet, joihin ilmavuototiivistykset eivät sovellu | 17 |
| 3.1.4 Ilmavuototiivistysten laadunvarmistus | 17 |
| 3.1.5 Ilmavuototiivistysten yhteydessä suoritettavat toimenpiteet | 18 |
| 3.1.6 Ilmavuototiivistysten yhtenäisyys | 19 |
| 3.2 Ilmavuototiivistysten pysyvyys | 19 |
| 3.2.1 Ulkovaipparakenteiden ilmatiiviyden pysyvyys tutkimuksissa | 19 |
| 3.2.2 Ilmavuototiivistysten pysyvyys tutkimuksissa | 20 |
| 3.2.3 Ilmavuototiivistysmateriaaleille asetettavat vaatimukset | 22 |
| 4 Merkkiainetutkimukset, rakenneavaukset ja tartuntavetolujuusmittaukset | 24 |
| 4.1 Merkkiainetutkimukset ja rakenneavaukset | 24 |
| 4.1.1 Merkkiainetutkimusten ja rakenneavausten tutkimusaineisto | 24 |
| 4.1.2 Epätiiviyden kohtien paikantamiseen käytetty merkkiainemenetelmä | 25 |
| 4.1.3 Merkkiainetutkimusten ja rakenneavausten suoritus | 31 |
| 4.2 Tartuntavetolujuusmittaukset | 33 |
| 4.2.1 Tartuntavetolujuusmittausten aineisto | 33 |
| 4.2.2 Tartuntavetolujuuden mittaamiseen käytetty menetelmä | 36 |
| 4.2.3 Koekappaleiden valmistus | 39 |
| 4.2.4 Tartuntavetolujuusmittausten suoritus | 41 |
| 5 Merkkiainetutkimusten ja tartuntavetolujuusmittausten tulokset | 43 |
| 5.1 Merkkiainetutkimusten ja rakenneavausten tulokset | 43 |
| 5.1.1 Kohde A | 44 |
| 5.1.2 Kohde B | 46 |
| 5.1.3 Kohde C | 47 |
| 5.1.4 Kohde D | 51 |
| 5.1.5 Kohde E | 52 |
| 5.1.6 Kohde F | 55 |
| 5.1.7 Kohde G | 58 |
| 5.2 Tartuntavetolujuusmittausten tulokset | 60 |
| 5.2.1 Tartuntavetolujuuksien arvot ja murtotavat | 60 |
| 5.2.2 Tartuntavetolujuuden arvojen vertailu aikaisempiin pinnoitteille tehtyihin tutkimuksiin | 63 |
| 6 Merkkiainetutkimusten ja tartuntavetolujuustutkimusten tulosten arviointi | 64 |

| | | |
|-------|---|----|
| 6.1 | Merkkiainetutkimusten ja rakenneavausten tulosten arviointi | 64 |
| 6.1.1 | Kohde A | 64 |
| 6.1.2 | Kohde B | 64 |
| 6.1.3 | Kohde C | 64 |
| 6.1.4 | Kohde D | 65 |
| 6.1.5 | Kohde E..... | 66 |
| 6.1.6 | Kohde F..... | 66 |
| 6.1.7 | Kohde G | 68 |
| 6.1.8 | Merkkiainetutkimuksen virheet | 68 |
| 6.2 | Tartuntavetolujuustutkimusten tulosten arviointi..... | 69 |
| 6.2.1 | Tartuntavetolujuuksien arvot ja murtotavat | 69 |
| 7 | Johtopäätökset..... | 72 |
| 7.1 | Tulokset koottuna | 72 |
| 7.2 | Päätelmät | 76 |
| 7.3 | Teknisesti laadukkaan tiivistyksen toteutus | 77 |
| | Lähdeluettelo..... | 79 |
| | Liiteluettelo | 87 |

Merkinnät

| | | |
|------------|----------------------|---|
| A | [mm ²] | vedetty pinta-ala |
| F | [N] | vetovoima |
| d | [mm] | betonilaatan paksuus |
| g | [m/s ²] | putoamiskiihtyvyys |
| h | [m] | tarkastelukorkeus rakennuksen sisällä |
| n_{50} | [1/h] | ilmavuotoluku; tunnissa ulkovaipparakenteiden läpi virtaavan ilman tilavuus jaettuna rakennuksen kokonaisilmatilavuudella, kun paine-ero rakennuksen sisä- ja ulkopuolen välillä on 50 Pa |
| n_{ala} | [kN] | irtivetolaitteen näyttämävälän alaraja |
| $n_{ylä}$ | [kN] | irtivetolaitteen näyttämävälän yläraja |
| p | [Pa] | paine |
| Δp | [Pa] | paine-ero |
| t | [kN] | irtivetolaitteen näyttämää vastaava todellinen arvo |
| t_{ala} | [kN] | n_{ala} :aa vastaava todellinen arvo |
| $t_{ylä}$ | [kN] | $n_{ylä}$:ää vastaava todellinen arvo |
| x | [kN] | irtivetolaitteen näyttämä |
| y | [mm] | arviointisyvyys |
| ρ | [kg/m ³] | tiheys |
| σ | [MPa] | tartuntavetolujuus |

Lyhenteet

| | |
|-------|-------------------------------------|
| KTM | Kauppa- ja teollisuusministeriö |
| M1 | rakennusmateriaalien päästöluokitus |
| RIL | Suomen Rakennusinsinöörien Liitto |
| RakMK | Suomen rakentamismääräyskokoelma |
| RT | Rakennustieto Oy |
| RTS | Rakennustietosäätiö |
| SFS | Suomen standardisoimisliitto |
| STM | Sosiaali- ja terveysministeriö |
| STUK | Säteilyturvakeskus |
| THL | Terveysten ja hyvinvoinnin laitos |
| YM | Ympäristöministeriö |

1 Johdanto

1.1 Tausta

Ulkovaipparakenteiden ilmatiiviyn parantaminen rakennuksen sisäpuolelta on usein sisäilmastoteknisiin korjauksiin liittyvä toimenpide, jolla pyritään estämään rakenteiden sisältä tulevat haitalliset ilmavirtaukset huoneilmaan. Tällainen ilmatiiviyn parantaminen osana sisäilmakorjauksia on rakentamisessa uudehko osaamisalue, josta on kokemuksia merkittävässä määrin vain 2000-luvun ajalta. Idea perustuu tietoon siitä, että rakennuksen ulkovaipparakenteista kulkeutuu sisäilmaan ilmavuotokohtien kautta epäpuhtauksia (Pessi ym. 1999, s. 74; Airaksinen ym. 2003 s. 212; Ojanen ym. 2003, s. 213; Pääkkilä 2012, s. 138; Lappalainen ym. 2014 s. 115). Tiivistämällä vuotokohdat ilmavirtaukset niiden kautta estyvät, jolloin myös epäpuhtauksia kulkeutuu sisäilmaan vähemmän.

Sisäilmaongelmakohteisiin tehdyistä valmiista ilmavuototiivistyksistä on hyvin vähän tutkimustietoa. Korjausten pitkäaikaiskestävyydestä on saatavilla tällä hetkellä lähinnä kokemukseräistä tietoa. Tiivistystuotteiden materiaaliominaisuuksista ja korjausratkaisujen pitkäaikaiskestävyydestä saatavilla olevan tiedon puute vaikuttaa päätöksiin korjaustavoista (Laine 2014, s. 28).

Tiivistysten pitkäaikaiskestävyydestä on esitetty epäilyjä. Esimerkiksi Rakennuslehden haastattelussa (2014, s. 4) kerrotaan jälkiseurantatutkimuksesta, jossa ei ole löydetty vielä yhtäkään tiivistyskorjausta, joka olisi säilyttänyt tiiviytensä. Samansuuntaisia epäilyjä ovat herättäneet myös kokemukset tiivistyskorjatuista kouluista ja päiväkodeista. Joissakin kohteissa käyttäjien oireilu on vähentynyt hetkeksi korjauksen jälkeen, mutta alkanut sitten uudelleen. Tiivistysten pysyvyydestä on tehty aiemmin yksi opinnäytetyö (Sobott 2014), jossa todettiin, että 1–5 vuotta aikaisemmin toteutettujen tiivistysten tiiviyydessä, toteutustavassa ja laadunvarmistuksessa oli suuria puutteita.

Kokemuksia ilmavuototiivistysten onnistumisestakin kuitenkin on. Rakennuslehdessä (2014, s. 4) kerrotaan kohteesta, jossa vuotta aikaisemmin tehtyjen tiivistysten myötä sisäilmaongelmat ovat käyttäjäkyselyiden perusteella selvästi vähentyneet. Laineen (2013, s. 182) mukaan korjauksilla, joissa ilmavuototiivistykset ovat olleet yhtenä osana toimenpiteitä, on useissa kohteissa pystytty merkittävästi parantamaan sisäilman laatua. Ahosen (2007) mukaan käytännön kokemukset osoittavat, että tiivistämistä voidaan pitää luotettavana menetelmänä sisäilmastoteknisissä korjauksissa (Ahonen 2007, s. 114). Eräässä kohteessa merkkiainetekniikalla tehdyssä seurantamittauksessa todettiin, että sisäilmakorjauksen yhteydessä tiivistettyjen välipohjarakenteiden ilmatiiviyys oli säilynyt yhtä hyvänä vuoden takaiseen tilanteeseen verrattuna (Lahtinen ym. 2008, s. 15). Koska ilmavuototiivistysten periaate on sama kuin se, mitä esimerkiksi radontiivistyksissä on menestyksellisesti vuosikymmeniä käytetty (Laine 2014, s. 11), herää kysymys, mistä huonot kokemukset sisäilmastoteknisten korjauksien yhteydessä toteutetuista ilmavuototiivistyksistä johtuvat.

Koska ilmavuototiivistysten tavoite on haitallisten ilmavirtausten estäminen, on keskeistä, että tiivistysmateriaalilla pystytään sekä saavuttamaan tiiviyys että säilyttämään se niin pitkään kuin on tarpeen. Tähän pääsemiseksi on tiivistysmateriaalin ominaisuuksien vastattava siihen kohdistuvia lämpö-, kosteus- ja mekaanisia rasituksia. Lisäksi tiivistysmateriaali on asennettava siten, että asennustavalla ei heikennetä tiivistyksen edellytyksiä kestää näitä rasituksia. Koska tiivistykset sijoitetaan rakenteiden liitoksiin, niiltä vaaditaan kykyä kestää rakenteiden tavanomaisia pakkomuodonmuutoksia. Materiaa-

lin riittävä tartunta alustaan puolestaan mahdollistaa sen myötäämisen muodonmuutoksissa ja muussa mekaanisessa rasituksessa.

Tiivistämisessä käytettävät materiaalit ovat pääsääntöisesti erilaisia muovi- ja epoksi-pinnoitteita, kittejä, vedeneristemassoja sekä joustavia teippejä ja vahvikekankaita. Monet materiaaleista ovat olleet pitkään käytössä muualla kuin tässä tarkoitettavissa ilmapuototiivistyksissä, esimerkiksi märkätilojen vedeneristämisessä, betonirakenteiden pinnoituksessa ja liikuntasauvojen tiivistämisessä, mutta niiden toimintaa ja pitkäaikaiskestävyyttä nimenomaan tässä tarkoitettavissa ilmapuototiivistyksissä ei ole tutkittu. Lisäksi tutkimustietoa niiden ja tyyppillisten tiivistettävien rakenteiden pintojen, kuten ikkunankarmien, tiiliseinien ja puurakenteiden yhteensopivuudesta ei ole riittävästi.

1.2 Tavoitteet ja rajaus

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin sisäilmastoteknisten korjausten osana toteutettavien ilmapuototiivistysten teknistä kestävyyttä. Varsinainen sisäilmakorjauksen onnistuminen riippuu kokonaisuudesta ja ilmapuototiivistysten lisäksi tehdyistä toimenpiteistä, kuten ilmanvaihdon säädöstä. Korjauksen onnistumisen arviointi vaatii oireilun yhdistämistä tehtyihin toimenpiteisiin, ja on tämän tutkimuksen ulkopuolella. Tässä tutkimuksessa keskityttiin ilmapuototiivistysten teknisen toteutuksen ja tiivistysmateriaalien ominaisuuksien tarkastelemiseen.

Tutkimus toteutettiin kahdessa osassa: toisessa tutkittiin vanhojen tiivistysten nykykuntoa ja tiiviyttä korjatuissa rakennuksissa, ja toisessa tiivistysmateriaalien ja tiivistettävien rakenteiden pintamateriaalien välisiä tartuntaominaisuuksia laboratorio-olosuhteissa tehdyn koepinnoituksen ja tartuntavetolujuusmittauksin. Tutkimuksen tavoitteena oli

- selvittää, millaista pitkäaikaiskestävyyttä tiivistyksiltä voidaan odottaa
- selvittää, miten toteutustavalla voitaisiin vaikuttaa siihen, että tiivistykset kestäisivät ilmatiiviinä mahdollisimman pitkään.

Tiivistysten pitkäaikaiskestävyyden tutkimiseksi valittiin aineistoksi seitsemän Vantaan kaupungin hallinnoimaa opetus-, varhaiskasvatus ja terveydenhuoltokiinteistöä, joihin oli tehty ilmapuototiivistyksiä vuosina 2011–2014. Kustakin rakennuksesta valittiin 1–4 tilaa, joiden tiivistysten tiiviys tutkittiin merkkiainekokein. Tiivistysten toteutustavan, kunnon ja materiaalien selvittämiseksi tiivistyksiin tehtiin rakenneavauksia. Rakenneavauksia tehtiin yhteensä 26. Avaukset tehtiin sekä kohtiin, jotka todettiin merkkiainekokeella tiiviiksi, että kohtiin, jotka todettiin epätiiviiksi. Näin saatiin tietoa siitä, mitkä seikat toteutustavassa ovat saattaneet vaikuttaa tiivistyksen ilmatiiviyyden säilymiseen tai ilmatiiviyyden menetykseen.

Toteutustavan vaikutusta tiivistysten pitkäaikaiskestävyyteen selvitettiin pinnoittamalla erilaisia rakennusmateriaaleja ilmapuototiivistyksissä yleisimmin käytetyillä tuotteilla. Rakennusmateriaalit olivat betoni, puu, maalattu puu, muovimatto, höyrynsulkumuovi, sementtipohjainen lattiatasoite sekä ei-sementtipohjainen tasoite. Materiaalit ovat tyyppillisten tiivistettävien rakenteiden pintamateriaaleja. Tutkimukseen valitut tiivistysmateriaalit olivat kolmen eri valmistajan epoksipohjustimia, vahvikekankaita, butyyliteippejä, vedeneristemassoja sekä muovipinnoitteita. Erilaisia tiivistysmateriaali–alustayhdistelmiä tutkittiin kaikkiaan 30.

Pinnoitukset tehtiin noudattaen tiivistysmateriaalien valmistajien ohjeita alustan valmistelussa, levitystavoissa, levityspaksuuksissa sekä kuivumis- ja kovettumisaajoissa. Osa pinnoituksista tehtiin hieman materiaalivalmistajien ohjeista poiketen, jotta oltaisiin

saatu käsitys siitä, miten ohjeista poikkeaminen voi vaikuttaa tiivistysmateriaalin tartuntaan. Tiivistysmateriaali–alusta-yhdistelmät koestettiin irtivetolaitteella materiaalien välisten tartuntavetolujuuksien selvittämiseksi. Tartuntaominaisuuksia verrattiin vanhojen tiivistysten tartuntaominaisuuksiin, jotta oltaisiin saatu tietoa siitä, millaisia eroja tartunnassa voi olla oikein ja väärin tehtyjen pinnoitusten välillä sekä uusien ja vanhojen pinnoitusten välillä. Tuloksena saatiin lisäksi tietoa siitä, millaista tartuntavetolujuutta alustaan tiivistysmateriaaleilta voidaan korjauksissa edellyttää silloin, kun alustan valmistelu ja materiaalien asennus on tehty tiivistysmateriaalien käyttöohjeiden mukaan.

1.3 Työn rakenne

Luvussa 2 käsitellään rakennuksen rakennusfysikaalista toimintaa, ilmansulun merkitystä sekä sitä, millaisia vaikutuksia tiiviillä ilmansululla on rakennuksen sisäilmaan.

Luvussa 3 käsitellään ilmavuotojen tiivistämistä osana sisäilmastoteknisiä korjauksia, korjaustavan tarkoitusta sekä ilmavuototiivistysten suunnittelussa ja toteutuksessa huomioon otettavia seikkoja.

Luvussa 4 käsitellään tutkimusmenetelmät. Luvussa 4.1 esitellään vanhojen ilmavuototiivistysten tutkimisessa käytössä ollut aineisto sekä merkkiainekokeiden ja rakenneavausten suoritustapa. Luvussa 4.2 esitellään tartuntavetolujuusmittauksissa tutkitut pinnoitteet ja alustamateriaalit, koekappaleiden valmistustapa sekä tartuntavetolujuusmittausten suoritustapa.

Luvussa 5 esitellään tutkimuksen tulokset. Luvussa 5.1 esitetään ilmatiiviysmittausten ja rakenneavausten tulokset kohteittain. Luvussa 5.2 esitetään tartuntavetolujuusmittauksista saadut lukuarvot sekä pinnoiteyhdistelmien murtotavat.

Luvussa 6.1 käsitellään ilmatiiviysmittausten ja rakenneavausten tulokset virhetarkasteluineen sekä luvussa 6.2 koekappaleitutkimusten tulokset virhetarkasteluineen.

Luvussa 7 esitetään yhteenveto tutkimuksen tuloksista sekä johtopäätökset.

Liitteessä 1 esitetään koekappaleiden pinnoitusaikataulu. Liitteessä 2 esitetään betonisten koekappaleiden suhteelliset kosteudet. Liitteissä 3–9 esitetään koejärjestelyt vanhojen tiiviysten ilmatiiviyden tutkimiseksi sekä valokuvia vanhoihin tiivistyksiin tehdyistä rakenneavauksista. Liitteessä 10 esitetään tartuntavetolujuusmittauksissa käytetyn irtivetolaitteen näyttämien muuntaminen laitteen kalibroinnin mukaisiksi todellisiksi arvoiksi. Liitteessä 11 esitetään tartuntavetolujuusmittauksia varten valmistettujen kappaleiden murtotavan ilmoittamisessa käytetyt kirjaintunnukset. Liitteessä 12 esitetään tartuntavetolujuusmittausten numeeriset tulokset, pinnoitteiden murtotavat sekä valokuvia tartuntavetolujuusmittauksista.

2 Ulkovaipparakenteiden ilmatiiviyden merkitys

2.1 Höyrynsulku ja ilmansulku

Ulkovaipparakenteilla tarkoitetaan rakennuksen lämpimät ja puolilämpimät tilat ulkoilmasta, maaperästä tai kylmistä tiloista erottavia rakenteita (Suomen rakentamismääräyskokoelma (RakMK) C2 1998, s. 2). Näitä ovat ulkoseinät, yläpohja ja alapohja liitoksineen. Ilmatiiviyden ja kosteusteknisen toiminnan kannalta olennaiset osat näistä rakenteista ovat höyrynsulkuna ja ilmansulkuna toimivat ainekerrokset sekä niiden liitokset. Myös tuulensuojan tarkoitus on suojata rakenteita ilmavirtauksilta, mutta varsinkin vaipparakenteiden ilmanpitävyys perustuu lämmöneristekerroksen lämpimällä puolella sijaitseviin tiiviisiin rakennekerroksiin. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto (RIL) 107-2012, s. 27–28.)

Höyrynsulku on ainekerros, jonka pääasiallinen tehtävä on estää haitallinen vesihöyryn diffuusio rakennuksen sisältä ulospäin ulkovaipparakenteiden läpi. Ilmansulku puolestaan on ainekerros, jonka pääasiallinen tehtävä on estää paine-erosta aiheutuvat haitalliset ilmavirtaukset vaipparakenteiden läpi. Höyrynsulun ja ilmansulun välinen merkittävä ero on se, että höyrynsululla on suurempi vesihöyrynvastus. Molempia ainekerroksia käytetään kuitenkin samoihin tarkoituksiin, jotka ovat

- rakenteiden suojaaminen sisäilman kosteudelta
- epäpuhtauksien ja radonin sisäilmaan kulkeutumisen estäminen
- ulkoa sisäänpäin suuntautuvien ja sisäpintaa tai sisätiloja jäähdyttävien ilmavirtausten estäminen
- sisältä ulospäin suuntautuvan lämpöenergian konvektion estäminen
- rakennuksen sisä- ja ulkotilojen välisen paine-eron stabiloiminen siten, että rakennus kyetään ilmanvaihdoilla pitämään pääsääntöisesti alipaineisena.

Kosteusteknisen toiminnan kannalta on tärkeintä estää sisäilman virtaaminen rakenteisiin, sillä konvektiolla kosteutta voi siirtyä rakenteisiin enemmän kuin diffuusiolla (Vinha 2014, s. 369). (RIL 205-2014, s. 253; RIL 107-2012, s. 27–28.)

Mikäli rakenteessa on höyrynsulku, se toimii suuremman ilmatiiviytensä vuoksi yleensä myös ilmansulkuna. Kerrokset voivat kuitenkin olla myös erilliset, esimerkiksi levyrakenteisissa seinissä ilmansulku voi olla levyrakenne, jonka saumat on tiivistetty, ja höyrynsulku levyrakenteen sisäpuolelle asennettu erillinen pinnoite (RIL 107-2012, s. 28, 37). Höyrynsuluksi voidaan suunnitella sisäverhouksen sisäpinnan pintakäsittely vain siinä tapauksessa, että sen vesihöyrynvastus ei heikkene ajan kuluessa ja pintakäsittely pysyy rakenteessa rakenteen koko käyttöajan (Vinha 2009, s. 369).

Diffuusioavoimia ilmansulkuja käytetään lähinnä vaipparakenteissa, joissa materiaalit ovat luonnonkuitupohjaisia ja kosteudensitomiskykyisiä (RIL 205-2014, s. 253). Höyrynsulkuina voidaan käyttää kalvomaisia tuotteita, kuten muoveja, muovipinnoitteita, bitumia, alumiinipapereita ja alumiinilaminaatteja, levymäisiä tuotteita, kuten eristelevyjä, sekä massiivisia rakenteita, kuten betonia tai kiveä. Olennaista on, että höyrynsulkuna käytettävä ainekerros sijaitsee rakenteiden lämpimällä puolella, ja että sen vesihöyrynvastus on riittävän suuri suhteessa kosteusrasitukseen ja sen kylmemmällä puolella olevien rakenteiden vesihöyrynvastukseen sekä kosteudensitomiskykyyn. (RIL 107-2012, s. 27–34.)

Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaan vaipparakenteiden tulee olla niin tiiviit, että haitallinen kosteuden kertyminen rakenteisiin estyy. Suomen oloissa vaipparaken-

teiden lämpötilan ollessa toisinaan merkittävästi rakennuksen sisäilman lämpötilaa alhaisempi tämä merkitsee sitä, että rakenteissa on oltava höyryn- tai ilmansulku, jotta sisäilman kosteuden pääsy ja tiivistyminen vaipparakenteisiin estyy. Ilmansulun on määräyksen mukaan oltava niin tiivis, että rakennus on mahdollista pitää ilmanvaihdon alipaineisena. Lisäksi suositellaan, että tiiviys varmistetaan myös ikkunoiden ja ovien karmien kohdalla, tuuletusaukkojen, sähkörasioiden ja putkien läpivientien kohdalla sekä seinän liittymissä ala-, väli- ja yläpohjarakenteisiin. (RakMK C2 1998, s. 3–4, 9–10.)

Tiloissa, joissa rakenteisiin kohdistuu kosteusrasitusta, on sisäpinnan oltava edellä kuvatulla tavalla kauttaaltaan tiivis ilmansulun ja ilmansulkuna toimivan höyrynsulun liitoksia ja läpivientikohtia myöten, jotta terveydellistä riskiä kosteuden kertymisestä ei muodostuisi. Rakenteet toimivat kosteuden konvektion kannalta turvallisella tavalla, jos rakennuksessa on alipaine tai jos rakenteessa on ehjä ilmansulkukerros (Vinha & Käkelä 2001, s. 3). Käytännössä vaipparakenteiden kosteustekninen toiminta perustuu kuitenkin molempien tekijöiden yhteisvaikutukseen, sillä paine-ero sisä- ja ulkoilman välillä ei ulkoilman lämpö- ja tuuliolosuhteiden vaihtelusta johtuen ole aina vakio, ja ylipaineisuutta voi satunnaisesti esiintyä (Ympäristöministeriö (YM) 1998, s. 60–61).

2.2 Rakennuksen energiankulutus

Sen lisäksi, että ilmatiiviys on useimmiten välttämätöntä rakenteen kosteustekniselle toiminnalle, vaikuttaa vaipparakenteiden ilmatiiviys myös suoraan rakennuksen energiatehokkuuteen (Lahdensivu ym. 2012, s. 15). Tiiviys estää lämpimän ilman kulkeutumista ulos ja kylmän ilman virtaamista sisälle. Tämä on tarpeetonta ilmanvaihtoa taloissa, joiden tuloilman on suunniteltu tulevan muuta reittiä (Polvinen ym. 1983, s. 11; Metiäinen ym. 1986, s. 116). Ilmanvaihdon lämmöntalteenottojärjestelmällä varustetuissa rakennuksissa ilmatiiviys edistää korvaus- ja poistoilman kulkemista lämmöntalteenoton läpi (Vinha 2009, s. 372).

Ilmavuodot vaipparakenteista aiheuttavat myös vetoa, joka voi epäsuorasti vaikuttaa rakennuksen energiankulutukseen, sillä vetoisissa tiloissa pidetään usein yllä korkeampaa sisäilman lämpötilaa vedon vaikutuksen vähentämiseksi (Aho & Korpi 2009, s. 8). Suuren ilmanvuotoluvun on havaittu olevan yhteydessä lattioiden kylmyyteen ja vaihtelevaan huonelämpötilaan (Vinha ym. 2005, s. 85). Yleisesti ottaen rakenteiden läpi ulkoa sisälle suuntautuvat kylmät ilmavirtaukset jäähdyttävät rakenteita ja sisäilmaa ja voivat siten lisätä energiankulutusta (Vinha ym. 2008, s. 13).

Ilmansulun vuotamisesta aiheutuvat ilmavirtaukset lämmöneristekerroksessa aiheuttavat lämmöneristekerroksen lämpötekniisten ominaisuuksien heikentymistä, mikä lisää energiankulutusta (RIL 250-2011, s. 77). Lämmöneristeen ilmavirtauksia estävät sekä lämmöneristeen ulkopintaan sijoitettava tuulensuoja että lämmöneristeen sisäpintaan sijoitettava ilmansulku. Ilmavirtaukset lämmöneristeessä aiheuttavat lämpöenergian kuljetumista sekä lämmöneristekerroksen läpi että lämmöneristekerroksen sisällä. Siten ilmansululla ja tuulensuojalla on suuri merkitys ulkovaipparakenteen energiatehokkuudelle. Kylmällä ilmalla ulkoilmasta sisätiloihin suuntautuvat ilmavirtaukset kasvattavat lisäksi kosteuden kondensoitumisen riskiä, kun lämmöneristeen ja muiden rakenteiden lämpötila laskee (Vinha ym. 2008, s. 13). Tämä lisää entisestään ilmansulun merkitystä. (RIL 107-2012, s. 28.)

Lämmöneristekerroksen sisällä tapahtuva sisäinen konvektio saa aikaan lämpimän ilman nousun ylös lämmöneristeen lämpimällä puolella, ja kylmän ilman laskun alas

lämmöneristeen kylmällä puolella (Huttunen 2012). Sisäisessä konvektiossa ilman kiertäminen kiihdyttää lämpöenergian siirtymistä johtamalla eristekerroksen ulko- ja sisäpintoilla, jolloin eristyskyky heikkenee ja energiatehokkuus laskee. Yläohjarakenteissa sisäinen konvektio voi lisätä paksujen, hyvin ilmaa läpäisevien puhalluseristeiden läpi siirtyvää lämpövirtaa jopa 30–50 % (Vinha 2014, s. 13). Sisäisen konvektion merkitys on suurin paksuissa, korkeissa ja hyvin ilmaa läpäisevissä lämmöneristekerroksissa, ja sen vaikutusta voi vähentää jakamalla lämmöneristekerros kahteen osaan pystysuuntaisella ilmansulkukalvolla eli konvektiokatkolla (Huttunen 2012).

Ilmansulun epätiivelyskohtien kautta tapahtuvat vuodot voivat aiheuttaa 15–30 % lämmitysenergian tarpeesta pientalossa, jonka ilmanvuotoluku n_{50} on 4,0 l/h (Aho & Korpi 2009, s. 7). Ilmanvuotoluvun n_{50} pienentyminen yhdellä kokonaisuusyksiköllä puolestaan voi laskea rakennuksen kokonaisenergiankulutusta lähteestä riippuen 2–7 % (Boström 2012, s. 36; Aho & Korpi 2009, s. 7). Ilmavuotojen tiivistäminen on tehokkaimpia ja edullisimpia tapoja vähentää rakennuksen kokonaisenergiankulutusta, kun lämmöneristekerroksen paksuus on jo suuri (Aho & Korpi 2009, s. 7). Lisäksi lämmöneristekerrosten paksuuntuminen energiatehokkuusvaatimuksien kasvaessa edellyttää ilman- ja höyrönsululta entistä parempaa tiiviyyttä, sillä paksun lämmöneristekerroksen kuivumiskyky on heikompi kuin ohuen (Vinha ym. 2008, s. 5; Lahdensivu ym. 2012, s. 1, 10).

2.3 Ilmanvaihto ja rakennuksen paine-erot

Ilmanvaihdon tehtävä on kuljettaa pois sisäilman epäpuhtauksia ja tuoda tilalle puhtaampaa ulkoilmaa. Toimiva ilmanvaihto on siten hyvän sisäilman edellytys (Seuri & Palomäki 2000, s. 32). Ilmanvaihtojärjestelmän toimintaa käsittelevissä oppaissa painotetaan ilmavirtausten riittävän pientä nopeutta melu- ja vetohaitan ehkäisemiseksi, ilmanvaihtojärjestelmän puhtautta, ilmanvaihtuvuuden riittävyttä, ilmavirtausten järjestämistä puhtaammista tiloista likaisempiin päin sekä sitä, että korvausilman oton on tapahduttava suunniteltua reittiä (Sosiaali- ja terveysministeriö (STM) 2009, s. 56–57; Seppänen ym. 1997, s. 54–58; Seuri & Palomäki 2000, s. 32–33; Puhakka ym. 1996, s. 122). Ilmanvaihtojärjestelmälle asetettu yleinen vaatimus on, että se luo edellytykset terveelliselle, turvalliselle ja viihtyisälle sisäilmastolle (RakMK D2 2012, s. 9).

Korvausilman ottotapa riippuu ilmanvaihtojärjestelmästä. Painovoimaisessa ilmanvaihdossa, joka on yleisin ennen 1970-lukua rakennetuissa rakennuksissa, ilma poistetaan poistoilmaventtiilistä vesikaton yläpuolelle johtavan hormin kautta ja korvausilmaa virtaa tilalle ovien ja ikkunoiden ollessa kiinni vaipan epätiivelyskohtien kautta. 1970-luvun jälkeen yleistyneessä koneellisessa poistoilmanvaihdossa poistoa tehostavat puhaltimet, ja korvausilman tuonti perustuu sekä vaipparakenteiden epätiivyyteen että vaippaan sijoitettuihin ulkoilmaventtiileihin. 1980-luvulla yleistyneessä koneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihdossa kaiken korvausilman on tarkoitus tulla suodatettuna ja hallitusti tuloilmaventtiilien kautta. (RakMK D2 2012, s. 4; Puhakka ym. 1996, s. 122–124.)

Rakentamismääräysten (RakMK D2 2012, s. 19) mukaan rakennuksen painesuhteet eivät saa aiheuttaa rakenteisiin pitkäaikaista kosteusrasitusta. Ilmanvaihto säädetään tämän vuoksi tavallisesti hieman alipaineiseksi siten, että se vie enemmän ilmaa ulos kuin tuo sisälle. Rakennuksen sisä- ja ulkoilman väliseen paine-eroon vaikuttavat ilmanvaihtojärjestelmän tasapainotus, tuuli ja rakennuksen sisä- ja ulkopuolen välinen lämpötilaero (Jokisalo ym. 2008, s. 241). Asumisterveysoppaan (STM 2009, s. 64) mukainen tavoiteltava alipaine ulkoilman ja sisäilman välillä on koneellisessa poistoilmanvaihdossa 5–20 Pa ja koneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihdossa 0–2 Pa. Alipaineisuus-

den tarkoitus on sisäilmasta rakenteisiin päin suuntautuvan haitallisen kosteuskonvektion vähentäminen (Vinha 2009, s. 372). Alipaineen ei rakentamismääräyksissä kuitenkaan suositella olevan enemmän kuin 30 Pa.

Ylipaineisuus vastaavasti lisää kosteuskonvektiota rakenteisiin (Vinha 2009, s. 372). Ilmanvaihto voidaan säätää ulkoilmaan nähden ylipaineiseksi poikkeustapauksissa (Aalto ym. 2008, s. 60). Ylipaineistus voi olla erikoistoimenpide esimerkiksi rakennuksissa, jotka on määrätty purettaviksi tai joissa sisäilman kosteustuotto on pieni (Laine 2014, s. 40).

Tulo- ja poistoilmavirtojen mitoituksessa on otettava huomioon, että jos alipaine rakennuksen alaosassa on heikko, niin ulkoilman ollessa sisäilmaa kylmempää voi rakennuksen yläosa olla ylipaineinen, kun sisätilojen lämmin ilma pyrkii nousemaan ylös (YM 1997, s. 58). Ulko- ja sisäilman lämpötilaeroista aiheutuva paine-ero voidaan määrittää hydrostaattisten paineiden erotuksena yhtälön (1) mukaisesti. Hydrostaattisten paineiden ero aiheutuu siitä, että kylmän ilman tiheys on suurempi kuin lämpimän ilman tiheys (Vinha 2014, s. 47). Myös puuskainen tuuli voi aiheuttaa rakennuksessa suuria hetkellisiä paine-eroja (RIL 250-2011, s. 85).

$$\Delta p = (\rho_{ulkoilma} - \rho_{sisäilma})gh \quad (1)$$

missä Δp on ulko- ja sisäilman välinen lämpötilaeroista aiheutuva paine-ero korkeudella h [Pa]
 $\rho_{ulkoilma}$ on lämpötilasta riippuva ulkoilman tiheys [kg/m^3]
 $\rho_{sisäilma}$ on lämpötilasta riippuva sisäilman tiheys [kg/m^3]
 g on putoamiskiihtyvyys $9,81 \text{ m/s}^2$
 h on tarkastelukorkeus rakennuksen sisällä [m]

Koneellinen ilmanvaihto saatetaan suunnitella siten, että paine-ero on rakennuksen alaosissa lähes olematon, ja rakennuksen yläosissa vallitsee talvisaikaan ylipaine. Alipaineen säätämällä mahdollisimman heikoksi pyritään estämään muun muassa radonin siirtymistä maaperästä sisätiloihin. Ylipaineen vuoksi yläpohjan ja rakennuksen yläosien ilmansulun tiiviys on kosteuskonvektion estämisessä erityisen tärkeä. Toisaalta kauttaaltaan tiivis ilmansulku estäisi myös radonin pääsyn sisäilmaan, mikä sallisi myös ilmanvaihdon säätämisen riittävän alipaineiseksi yläosien ylipaineistumisen välttämiseksi. (Vinha 2009, s. 372.)

Vaipparakenteiden hyvä ilmatiiviys on perusedellytys ilmanvaihdon luotettavalle toiminnalle (Vinha 2009, s. 372). Tämä pätee ilmanvaihtojärjestelmiin, joissa korvausilman oton on suunniteltu tapahtuvan erillisten tuloilmaventtiilien kautta. Kun vaipparakenteet ovat tiiviit, ilma virtaa hallitusti suunniteltua reittiä sen sijaan, että se tulisi sisätiloihin rakenteiden läpi ilmansulun epätiivetyyskohdista. Toisaalta ilmanvaihdon toiminnan ja tasapainotuksen tarkkaileminen on entistä tärkeämpää ilmatiiviissä rakennuksissa, sillä mitä tiiviimpi ilmansulku on, sitä herkemmin ilmavirtojen vaihtelu vaikuttaa ilmanvaihtuvuuteen ja muuttaa sisä- ja ulkoilman välistä paine-eroa (Jokisalo ym. 2007, s. 243–244; Vinha ym. 2008, s. 12).

2.4 Ilmatiiviiden vaikutus sisäilmastoon

Ulkovaipparakenteista sisäilmaan vuotavan korvausilman on pitkään tiedetty aiheuttavan erilaisia haittoja. Näistä ensimmäisinä tiedossa ovat olleet vetoisuus ja näkyvien pintojen likaantuminen (Polvinen ym. 1983, s. 11). 1970-luvun energiakriisin aikaan

rakenteita tiivistettiin energiankulutuksen vähentämiseksi (Polvinen ym. 1983, s. 11; Wadsö 1999, s. 5). Tällöin myös kehitettiin ensimmäiset ulkovaipparakenteiden ilmanpitävyyden määrittämiseen soveltuvat mittausmenetelmät (Polvinen ym. 1983, s. 13). Rakennuksille ei Suomessa vielä 1980-luvun alussa ollut kuitenkaan asetettu tiiviysvaatimuksia. Ilmatiiviyeen pyrittiin lähinnä ilmanvaihdon paremman hallinnan ja energian säästämisen vuoksi, joskin korvausilman tulon rakenteista sisäilmaan katsottiin heikentävän sisätilojen viihtyisyyttä sekä sisäilmaston laatua (Polvinen 1983, s. 136).

Radonin esiintymistä asunnoissa tutkittiin Suomessa ensimmäisen kerran 1970-luvulla, ja 1980-luvun alussa radon tunnistettiin säteilysuojeluongelmaksi (Säteilyturvakeskus 2003, s. 115). Ensimmäinen opas radonin torjumisesta tiivistämällä julkaistiin vuonna 1991 (Laine 2014, s. 11). Ilmanvaihdon tiedettiin vähentävän maaperästä ja rakennusmateriaaleista tulevien kaasujen pitoisuutta sisäilmassa silloin, kun korvausilma ei tule sisälle esimerkiksi alapohjan rakojen kautta, jolloin maaperän radon kulkeutuu tehokkaasti huoneilmaan (Metiäinen ym. 1986, s. 81). Muiden epäpuhtauksien kulkeutumista ei osattu kuitenkaan vielä tällöin epäillä tai osoittaa.

Ilmavuotojen yhteyttä muihin sisäilmahaittoihin kuin vetoisuuteen ja radoniin alettiin epäillä Suomessa ensimmäisen kerran 1990-luvulla. Tällöin myös mikrobiperäisten epäpuhtauksien ja terveyshaittojen välillä havaittiin ensimmäisen kerran yhteys, ja "homeongelmasta" alettiin puhua (Laine 2013, s. 178; Seuri & Palomäki 2000, s. 19). Ström ym. (1993, s. 351) osoittivat, että mikrobien aineenvaihduntatuotteet voivat tulla kaasumaisina pienissä määrin esimerkiksi höyrynsulkumuovina käytetyn polyeteenikalvon läpi. Puhakka & Kärkkäinen (1994, s. 93) pitivät haitallisena ilman kulkeutumista huonetiloihin rakenteiden epätiiviyskohtien kautta ryömintätilasta tai putkikanavasta, jossa on homehtunutta materiaalia. Ympäristöoppaassa 28 (1997, s. 100) mainitaan, että pienikin määrä homehtunutta rakennusjätettä tai esimerkiksi muottilaudoitusta voi aiheuttaa oireita rakennuksen käyttäjille, sillä haitalliset aineet voivat päätyä huonetiloihin esimerkiksi hormeissa, alapohjarakenteen läpivienneissä, saumoissa, halkeamissa tai seinän ja lattian välisissä liitoksissa olevista epätiiviyskohdista tulevien ilmavirtausten mukana.

Pessi ym. (1996, s. 135) esittivät, että heidän havaitsemansa homekasvu betonisandwich-rakenteiden ulkoseinäelementtien eristetilassa saattaa kerryttää sisäilmaan itiöitä ja kasvustoista lähtöisin olevia haihtuvia yhdisteitä, mikäli korvausilma kulkeutuu asuntoon ulkoseinäelementtien läpi. Myöhemmässä tutkimuksessa (Pessi ym. 1999, s. 65) osoitettiin, että betonisandwich-rakenteiden ulkoseinäelementtien reunaosissa esiintyvä sädesienipitoisuus vaikutti asunnon sisäilmasta tavattuun sädesienipitoisuuteen. Samana vuonna ilmestyneessä Rakennustieto- eli RT-kortissa esitetään korjausmenetelmänä rakenteiden tiivistäminen, jotta mikrobien kulkeutuminen huoneilmaan saadaan estettyä (RT 1999, s. 3).

Airaksinen ym. (2003, s. 207) osoittivat, että suuri paine-ero lisäsi inerttien hiukkasten ja sieni-itiöiden siirtymistä alapohjarakenteiden läpi sisätiloihin. Sisäilman alipaineisuuden todettiin heikentävän sisäilman laatua silloin, kun rakenteissa tai niiden ulkopuolella oli terveydelle haitallisia epäpuhtauksia. Myöhemmin on tehty tutkimuksia, joissa epäpuhtauksien tuloa rakenteista sisäilmaan paine-eron vaikutuksesta on tutkittu lisää. On muun muassa havaittu, että alipaine voi lisätä rakenteiden läpi tulevien mikrobilajien määrää, vaikka itse mikrobipitoisuus ei alipaineen vaihdellessa muuttuisi (Päkilä 2012, s. 137–138). Myös menetelmiä rakenteiden läpi tulevien epäpuhtauksien havaitsemiseen on kehitetty (Lappalainen ym. 2014, s. 111).

Nykyään hallitsemattomien ilmapuotojen tiedetään yleisesti kuljettavan epäpuhtauksia, ja ilmapuotojen välttämistä korostetaan useissa oppaissa. Mikrobin lisäksi ilmapuodot rakenteista voivat kuljettaa mukanaan haitta-aineperäisiä yhdisteitä, radonia, ulkoilman epäpuhtauksia, kuituja ja pölyä. Asumisterveysohjeessa (STM 2003, s. 70) syiksi epäpuhtauksien kertymiselle sisäilmaan mainitaan liian vähäinen ilmanvaihto ja korvausilman hallitsematon tulo rakenteista. Opetushallituksen oppaassa (Aalto ym. 2008, s. 53–54, 114) kehoitetaan ottamaan ilmatiiviyden suunnittelussa huomioon, että alapohjasta, ulkoseinien mineraalivillaeristeestä tai tuuletusraosta voi kulkeutua sisäilmaan ilmapuotusten mukana mikrobikasvustojen epäpuhtauksia niin, että ne muodostavat terveyshaitan. Suomen Rakennusinsinöörien Liiton oppaaseen RIL 107-2012 Rakennuksen veden- ja kosteudeneristysohjeet lisättiin vuoden 2012 uudistuksessa kokonaan uusi luku koskien rakennusten ilmatiiviyttä. Uudistus tehtiin energiamääräysten kiristymisen ja sisäilmastonäkökulman viimeaikaisen korostumisen vuoksi (Laamanen & Åström 2013, s. 190).

RIL:n oppaissa kehoitetaan yleisesti suunnittelemaan rakennus mahdollisimman ilmatiiviiksi mainiten yhtenä perusteena sen, että hallitsemattomat ilmapuodot aiheuttavat sisäilmariskin kuljettaessaan sisäilmaan mikrobeja ja radonia (RIL 250-2011, s. 74; RIL 107-2012, s. 28; RIL 255-1-2014, s. 206). RIL:n oppaassa RIL 250-2011 Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen käsitellään ilmapuototiivistyksiä korjaustapana. Oppaassa annetaan ohjeita siitä, miten ilmapuototiivistykset tulee toteuttaa, missä tilanteissa niitä voidaan tehdä, sekä mitä muita tekijöitä tiivistysten toteutuksessa on otettava huomioon (RIL 250-2011, s. 143–150).

Alapohjan ryömintätilassa on aina selvästi suurempi pitoisuus mikrobeja kuin sisäilmassa (RIL 250-2011, s. 86). Vinhan (2009, s. 368) mukaan vaipparakenne on syytä tehdä ilmatiiviiksi siten, että homeet ja niiden aineenvaihduntatuotteet eivät pääse kulkeutumaan sisäilmaan. Opetushallituksen sisäilmaongelmaisten koulurakennusten korjaamisesta koskevassa oppaassa käsitellään laajasti epäpuhtauksia kuljettavien ilmapuotojen poistamista tiivistämällä eri rakenteissa: ala-, väli- ja yläpohjissa, maanvastaisissa kellareinissä, sokkeleiden liittymissä, putkikanavien liittymissä, tarkastusluukuissa, maata vasten perustetuissa väliseinissä, ulkoseinissä ja ikkunoiden liittymissä (Aalto ym. 2008, s. 126–127, 154–157, 169, 175–184, 200–207, 211–213, 218–221, 227–240). Pelkkä tilojen ali- ja ylipaineisuuden tarkka hallinta ei riitä estämään epäpuhtauksien haitallista kulkeutumista sisäilmaan, vaan lisäksi edellytetään rakenteiden sisäpinnan lähes täydellistä tiiviyttä (Aalto ym. 2008, s. 61).

Hallitsemattomat ilmapuotukset aiheuttavat vedon ja epäpuhtauksien lisäksi myös muita sisäilmastohaittoja. Ilmapuotojen mukana kulkeutuvat epäpuhtaudet voivat aiheuttaa hajuhaittoja (Aalto ym. 2008, s. 201, RIL 250-2011, s. 86). Ilmapuodot voivat kuljettaa mukanaan lisäksi rakennusmateriaaleista irtoavia hiukkasia ja niistä haihtuvia kaasumaisia epäpuhtauksia (Aalto ym. 2008, s. 227). Ilmatiiviyys parantaa lisäksi ääneneristävyyttä ja ehkäisee siten meluhaittoja (RIL 255-1-2014, s. 309). Sisäilmastoon liittyvien positiivisten vaikutusten lisäksi ilmatiiviyys parantaa rakennusten palonkestoa ja ehkäisee savukaasujen leviämistä (RIL 255-1-2014, s. 309).

Kaiken kaikkiaan ulkovaipparakenteiden ilmanpitävyyden parantamisella on lähes yksinomaan positiivisia vaikutuksia rakennuksen ja rakenteiden toimintaan ja sisäilmaan (Vinha ym. 2008, s. 12). Rakennuksen energiankulutus vähenee, sisäilman kosteuden virtaus vaipparakenteisiin vähenee, vaipparakenteiden sisäpinnat eivät kylmene ulkoa tulevien kylmien ilmapuotusten vuoksi, asukkaiden kokemaa vedon tunne vähenee, ja

epäpuhtauksien, kuten mikrobien ja radonin virtaus sisäilmaan vähenee (Vinha ym. 2008, s. 12). Koska ilmavuotojen tiivistäminen vaikuttaa rakenteiden lämpö- ja kosteustekniseen toimintaan, on tiivistäminen kuitenkin tehtävä kunkin rakenteen rakennusfysikaalinen toiminta huomioiden (Laine 2014, s. 58). Rakenteita, joiden tiivistämisellä voi olla haitallisia vaikutuksia rakenteen kosteustekniseen toimintaan, on käsitelty luvussa 3.1.3.

3 Ilmavuototiivistykset osana sisäilmastoteknisiä korjauksia

3.1 Ilmavuototiivistysten toteutus

3.1.1 Ilmavuototiivistysten periaate

Ilmavuototiivistyksillä pyritään sisäilmastoteknisissä korjauksissa estämään rakenteista sisäilmaan suuntautuvat epäpuhtauksia kuljettavat ilmavirtaukset (Laine 2014, s. 9; Aalto ym. 2008, s. 56). Tavoitteena ei ole parantaa rakenteiden diffuusiotiiviyyttä, mikä on esimerkiksi haitta-aineiden kapselointiin liittyvä toimenpide. Ilmavuotojen tiivistämisen tarkoituksena ei ole myöskään luoda kosteussulkua rakenteisiin, vaikka ilmavuotojen tiivistämisessä käytetyt materiaalit soveltuvat joskus myös tähän. (Laine 2014, s. 9.)

Ilmavuototiivistyksissä parannetaan olemassa olevan ilmansulun tiiviyyttä ja yhtenäisyyttä. Ilmavuotojen tiivistämisellä on siten samat positiiviset vaikutukset rakenteiden toimintaan ja sisäilmastoon kuin tiiviillä ilmansululla. Tiivistystoimenpiteet voidaan kohdistaa sellaiseen vaipparakenteiden sisäkuoreen, joka sijaitsee lämmöneristeiden lämpimällä puolella ja joka on mahdollisimman tiivis ja yhtenäinen (Aalto ym. 2008, s. 232).

Yleensä tiivistystoimenpiteet kohdistetaan tiiviin sisäkuoren liitoskohtiin (Aalto ym. 2008, s. 232). Näitä ovat esimerkiksi ulkoseinän ja ala-, väli- tai yläpohjan liittymä, ulkoseinän ja ikkunan liittymä tai erilaiset läpivientikohdat. Edellä mainituissa liitoskohdissa ilmansulun epätiiviyskohdat ovat tyypillisimpiä (Aho & Korpi 2009, s. 1). Yhtä lailla tiivistetään kuitenkin myös kokonaisia ulkoseinä-, välipohja-, yläpohja- tai alapohjapintoja, elementtien tai paikalla rakennettujen rakenteiden välisiä saumoja ja muita rakenteita, joista on mahdollista päästä sisäilmaan epäpuhtauksia ilmavirtauksien mukana. Esimerkiksi puhtaaksi muurattu tiiliseinä voi olla itsessään sisäkuorena niin epätiivis, että se on tiivistettävä kauttaaltaan (Aalto ym. 2008, s. 232). Ulkovaipparakenteiden lisäksi voidaan ilmavuototiivistyksillä estää epäpuhtauksia kuljettavat ilmavirtaukset esimerkiksi vanhoista välipohjarakenteista (Laine 2014, s. 91). (Aalto ym. 2008, s. 126–127, 154–157, 169, 175–184, 200–207, 211–213, 218–221, 227–240.)

Ilmavuotojen tiivistäminen on perusteltua silloin, kun ulkovaipparakenteista voi kulkeutua sisäilmaan sisäilman laatua huonontavia epäpuhtauksia, joista aiheutuu käyttäjille terveysoireita tai muutoin merkittävää haittaa. Tämä koskee niin vanhoja kuin uusiakin rakennuksia, sillä epäpuhtauksia alkaa kertyä rakenteisiin heti rakennuksen valmistumisen jälkeen. Merkittäväksi haitaksi lukeutuvat mikrobiperäisten terveysoireita aiheuttavien epäpuhtauksien lisäksi sisäilmaan kulkeutuneet ja sisäilmamittauksin todetut kaasumaiset tai kiinteät partikkelit sekä ajoittaisetkin tilassa koetut hajut. Lisäksi haittaa katsotaan aiheutuvan, kun ilmavuotokohdat ovat pinta-alaltaan merkittäviä. (Aalto ym. 2008, s. 231.)

3.1.2 Ilmavuototiivistyksen soveltuvuus korjaustavaksi

Ulkovaipparakenteissa on yleensä ainakin paikoin mikrobeja (Aalto ym. 2008, s. 52). Vaikka rakenteet olisi suunniteltu ja toteutettu niiden rakennusfysikaalisen toiminnan kannalta oikein, niiden lähinnä ulkoilmaa oleviin osiin voi Suomen ilmasto-olosuhteissa kertyä ajoittain kosteutta ja muodostua mikrobikasvua (Vinha 2009; s. 368, Aalto ym. 2008, s. 53). Mikrobikasvua on tyypillisesti kohdissa, joissa kosteuspitoisuus on päässyt nousemaan korkeaksi, kuten tuulensuojalevyssä, ulkoseinän tai yläpohjan lämmöneristeiden ulkopinnoissa ja vähintäänkin alapohjan maatyössä (Aalto ym. 2008, s. 56).

Lisäksi ulkoilmalla tuulettuviin rakenteisiin voi kertyä itiöitä, pölyä ja muita ulkoilman hiukkasia, jotka voivat aiheuttaa ihmisille terveysoireita sisäilmaan päästessään.

Koska mikrobikasvustoa ja muita epäpuhtauksia on, on aina olemassa mahdollisuus, että ne aiheuttavat terveyshaittaa (Terveyshaitan toteaminen, Terveiden ja hyvinvoinnin laitoksen (THL) sivusto 17.8.2015). Terveyshaitan toteutuminen riippuu muun muassa epäpuhtauksien määrästä, sijainnista, epäpuhtauksien laadusta kuten mikrobilajeista ja siitä, miten helposti epäpuhtaudet pääsevät kulkeutumaan sisäilmaan (Aalto ym. 2008, s. 55–56). Lisäksi oireiden puhkeamiseen vaikuttaa altistuvien ihmisten yksilöllinen herkkyys.

Sisäilmastoteknisissä korjauksissa ydinkysymys on korjaustoimenpiteiden oikea mitoittaminen, sillä turhaan korjaaminen kasvattaa vain kustannuksia. Pienilläkin toimenpiteillä on saatu aikaan merkittäviä parannuksia sisäilman laatuun silloin, kun ne on kohdistettu oikeisiin asioihin (Laine 2013, s. 177; Niemi 2012, s. 189). Korjaukset ovat vastaavasti valitettavan usein epäonnistuneet, kun tärkein ongelma on jäänyt huomaamatta ja korjaamatta (Kurnitski 2009, s. 456). Ongelmien alkuperän selvittäminen kokonaisvaltaisella, mutta oikeisiin asioihin keskittyvällä kuntotutkimuksella on ensiarvoisen tärkeää, jotta tältä välttyttäisiin (Laine 2013, s. 177).

Korjaustapoja valittaessa on siten oltava tiedossa, mikä on ongelmien aiheuttaja. Lisäksi suunnittelussa on arvioitava, mikä on korjaustöiden riittävä laajuus. Korjaussuunnittelun lähtökohta on aina kosteusvaurion aiheuttajan poistaminen (YM 1997, s. 101). Varsinaisten mikrobivaurioiden tai niistä aiheutuvien haittojen poistamisen suunnittelussa on käytettävä harkintaa. Korjauksen suunnittelijan tehtävä on arvioida, missä tilanteessa on ryhdyttävä toimenpiteisiin mikrobikasvuston tai muiden epäpuhtauksien poistamiseksi, ja missä tilanteessa esimerkiksi ilmavirtauksien estäminen kontaminoituneesta rakenteesta sisäilmaan on riittävä toimenpide (RIL 250-2011, s. 135; Aalto ym. 2008, s. 52, 56). Korjaustavan valinnassa on huomioitava erilaisten riskitekijöiden merkitystä rakenteille ja sisäilman terveellisyydelle suhteessa korjaustavan onnistumisvarmuuteen, kustannuksiin ja pitkäikäisyyteen (Niemi 2012, s. 189).

Ilmavuototiivistysten toimintaperiaatteena on estää epäpuhtauksien kulkeutuminen rakenteista sisäilmaan. Tämä tarkoittaa sitä, että ainakin vähäisten epäpuhtauksien, esimerkiksi mikrobi- tai haitta-ainekontaminoituneen materiaalin jättäminen rakenteisiin hyväksytään. Epäpuhtauksien jättämisestä rakenteisiin on esitetty kritiikkiä (Niemi 2012, s. 189; Rakennuslehti 2014, s. 4). Ei olekaan olemassa absoluuttista vastausta siihen, saako kosteudesta vaurioitunutta materiaalia jäädä rakenteisiin (Aalto ym. 2008, s. 52).

Siitä, että epäpuhtauksien leviäminen rakenteista sisäilmaan tulee estää, vallitsee kuitenkin yhtenäinen käsitys kosteusvaurioituneiden rakennusten korjaamista käsittelevässä kirjallisuudessa, kuten luvussa 2.4 on esitetty. Rakenteiden ilmavuotojen tiivistäminen osana korjaustoimenpiteitä on perusteltua, sillä on osoitettu, että terveyshaittaa aiheuttavat epäpuhtaudet voivat kulkeutua ilmavuotojen mukana rakenteista sisäilmaan. On myös olemassa rakenteita, joita ei voida esimerkiksi suojelusyistä purkaa ja epäpuhtauslähdettä siten poistaa (Laine 2014, s. 109). Näiden rakenteiden kohdalla ilmavuotojen tiivistäminen tai haitta-aineiden kapseloiminen yhdessä ilmanvaihtojärjestelmän säädön kanssa voi olla ainoa tapa ratkaista koettu sisäilmaongelma.

Lisäksi vaurioituneiden rakenteiden uusimisesta ja epäpuhtauslähteiden poistamisesta huolimatta rakenteita voidaan joutua tiivistämään (Ahonen 2007, s. 109). Niemen (2012, s. 189–190) mukaan täydelliseen puhtauteen ei päästä koskaan, eikä tähän ole usein tarpeellista pyrkiäkään, sillä ilmavuototiivistyksillä ja haitta-aineiden kapseloinnilla on saavutettu hyviä tuloksia sisäilman laadun parantamisessa. Vastaavasti on kokemuksia siitä, että rakenteiden laajamittaisella uusimisella ei ole saavutettu tavoiteltua parannusta sisäilmaongelmaan (Kurnitski 2008, s. 456; Niemi 2012, s. 189; Ketunen 2013, s. 172).

3.1.3 Rakenteet, joihin ilmavuototiivistykset eivät sovellu

Tiivistäminen ei sovellu kaikkiin rakenteisiin (Aalto ym. 2008, s. 56). Ilmavuototiivistysten suunnittelu vaatiikin rakenneteknistä ja rakennusfysikaalista asiantuntemusta, sillä menetelmän soveltuvuus on arvioitava tapauskohtaisesti ottaen huomioon sillä saavutettavat hyödyt ja haitat niin sisäilmaston kuin rakenteen rakennusfysikaalisen toiminnan kannalta (Laine 2014, s. 58–59, 76).

Rakenteita, joissa on selvä kosteusvaurio, ei pidä tiivistää ilman ensin tapahtuvaa vaurion ja sen aiheuttajan poistamista (Laine 2014, s. 76). Opetushallituksen oppaassa (2008) esitetään rakenteita, joiden tiivistäminen soveltuu vain väliaikaiseksi korjaustoimenpiteeksi siitä syystä, että tiivistäminen ei poista ongelman aiheuttajaa. Tällainen rakenne on esimerkiksi kosteusvaurioitunut sokkelihalkaisu, jonka vaurioitumisen syy on kosteuspitoisuuden nousu lämmöneristeen kylmällä puolella olevassa ilmatiiviissä betonipinnassa (Aalto ym. 2008, s. 156–157). Väliaikainen ratkaisu on myös ilmavuotojen estäminen tiivistämällä sellaisesta elementtirakenteesta sokkelipalkista, jonka lämmöneriste on kosteusvaurioitunut maaperästä nousevan kapillaarisen kosteuden tai ulkoseinäpintaan kohdistuneen sateen vuoksi (Aalto ym. 2008, s. 161–164).

Puurakenteiden tiivistäminen on usein vaikeaa, eikä täydelliseen ilmatiivyyteen ole aina mahdollista päästä. Rakenteiden höyryn- tai ilmansulun tiiviydessä saattaa olla lähtökohtaisesti suuria puutteita. Lisäksi puurakenteiden lämpö- ja kosteusmuodonmuutokset ovat suuret. Tästä huolimatta kerroksellisten puurakenteiden tiivistämisellä voidaan yleensä parantaa sisäilman laatua. On kuitenkin tilanteita, joissa tiivistäminen ei ole kannattavinta. Esimerkiksi puurakenteiden alapohjien tapauksessa voi rakenteen uusiminen olla paras vaihtoehto. (Laine 2014, s. 83, 87.)

Tiivistäminen saattaa joissakin rakenteissa estää niitä kuivattavat ilmavirtaukset, mikä voi johtaa ongelmiin kosteuspitoisuuden noustessa (Laine 2014, s. 76–77). Tällaisia voivat olla esimerkiksi vanhat hirsirakennukset, joiden kosteustekninen toiminta perustuu osin puun hygroskooppisuuteen. Museoviraston ohjeen mukaan (Museovirasto 2000, s. 1, 7, 9) vanhojen hirsirakennusten ilmavuotojen tiivistämisessä tulisi käyttää luonnonmateriaaleja tai niiden jalosteita, kuten puukuitulevyä ja paperia.

3.1.4 Ilmavuototiivistysten laadunvarmistus

Ilmavuototiivistyksiä sisältävien korjaustöiden suunnitelmissa on määritettävä purkutöiden laajuus, tiivistettävät liittymät, tiivistystapa alustan valmisteluun liittyvine ohjeineen, käytettävät materiaalit sekä laadunvarmistusmenettely (Laine 2014, s. 59–60; Sobott 2014, s. 60). Laadunvarmistusmenettelyyn suositellaan kuuluvaksi mallityön tekeminen ja saavutetun ilmatiivyyden varmistaminen merkkiainemenetelmällä (Aalto ym. 2008, s. 232; Laine 2014, s. 63; Sobott 2014, s. 60–61). Lisäksi on suositeltavaa varmistaa, että urakoitsijalla ja suunnittelijalla on sama käsitys työn sisällöstä ja toteutustavasta, ja että urakoitsijalla on työhön tarvittavat tiedot ja taidot (Aalto ym. 2008, s. 29).

Mallityön avulla voidaan varmistaa, että työn jälki on tavoitellun mukaista. Mallityö tehdään samoilla materiaaleilla ja menetelmillä kuin varsinainen työ (Aalto ym. 2008, s. 232). Lisäksi mallityön yhteydessä voidaan täydentää suunnitelmia mahdollisten ilmi tulevien, suunnitelmista puuttuvien yksityiskohtien osalta. Purkutöiden edetessä on tarkistettava, että rakenteiden toteutus ja materiaalit vastaavat niitä lähtötietoja, joiden mukaan korjaussuunnitelmat on laadittu (Sobott 2014, s. 60). Suunnitelmat on rakenteiden poiketessa oletetusta päivitettävä. Tiivistystyö voi jatkua vasta, kun mallityö on hyväksytty ja on todettu, että tiivistystyöhön valitut menetelmät ja materiaalit ovat kohteeseen soveltuvia (Aalto ym. 2008, s. 232).

Tiivistystyön tiiviiden varmistamista merkkiainekokeella suositellaan lähes kaikissa ilmapuototiivistyksiä käsittelevissä oppaissa ja opinnäytetöissä. Rakenteiden ilmatiiviiden tarkastamisesta merkkiaineella on tekeillä RT-kortti. Opetushallituksen oppaassa (Aalto ym. 2008, s. 240) ohjeistetaan tarkastamaan kaikkien tiivistettyjen tilojen ilmatiiviyys rakennuttajan teettämällä merkkiainekokeella. Merkkiainekokeet tehdään ennen tiivistykset peittävien rakenteiden asentamista, jotta mahdolliset epätiiviyskohdat voidaan paikantaa tarkasti ja korjata (Aalto ym. 2008, 240). Ilmi tulevat epätiiviyskohdat tulee tiivistää, ja niiden tiiviyys tarkastaa uudella merkkiainekokeella. Laadunvarmistusmerkkiainekokeista tulee oppaan mukaan myös olla sovittu hyvissä ajoin ennen ilmapuototiivistysurakan alkamista. Laineen (2014, s. 63) mukaan tiiviiden tarkastaminen merkkiaineella on ehdoton edellytys korjausten onnistumiselle, eikä korjauksia ole yleensä kannattavaa tehdä ilman merkkiainekokeeseen perustuvaa tiiviiden varmistamista. Myös Sobottin (2014, s. 61) mukaan laadunvarmistusmerkkiainekokeet tulisi tehdä jokaiseen tiivistettyyn tilaan. Merkkiainekokeen suoritusta on käsitelty luvussa 4.1.2.

Laadunvarmistustoimenpiteenä myös aistinvarainen tarkastelu on tärkeää (Laine 2014, s. 63). Käytännössä on lisäksi havaittu hyödylliseksi erillinen pohjatöiden laadun tarkastaminen ennen tiivistysten asentamista. Tiivistysmateriaalien asennusohjeissa edellytetään, että pinnat ovat ennen tiivistysten asennusta lujat ja tasaiset. Lisäksi kaikki tartuntaa heikentävät pinnoitteet ja lika tulee olla poistettu. Koska tiivistysmateriaalien tiiviiden säilyminen edellyttää niiden lujaa kiinnittymistä alustaan, on oikean alustan käsitelyn varmistaminen laadunvarmistustoimenpiteenä perusteltua.

3.1.5 Ilmapuototiivistysten yhteydessä suoritettavat toimenpiteet

Ilmapuotojen tiivistäminen ei sovellu ainoaksi korjaustoimenpiteeksi, sillä parantunut tiiviyys voi muuttaa rakennuksen painesuhteita rakennuksen sisällä ja suhteessa ulkoilmaan (Aalto ym. 2008, s. 234; Laine 2014, s. 59). Ilmanvaihtojärjestelmän säätö onkin tarkistettava korjauksen jälkeen (Laine 2014, s. 59). Lisäksi jos korjauksessa avataan, poistetaan tai kuivatetaan kosteusvaurioituneita rakenteita, korjaus edellyttää huolellista jälkisiivousta osastoinnin, alipaineistuksen ja olemassa olevien rakenteiden suojaamisen lisäksi (Aalto ym. 2008, s. 226).

Sisäilmastoteknisen korjauksen suunnittelussa on otettava huomioon sekä rakennetekniset että talotekniset tekijät. Edelleen on otettava huomioon rakenneteknisten ja taloteknisten korjaustoimenpiteiden yhteisvaikutukset (RIL 250-2011, s. 136). Ilmanvaihtojärjestelmän toiminnan arviointi kuuluu siten osana ilmapuototiivistyksiä sisältävän korjauksen suunnitteluun (Aalto ym. 2008, s. 234). Sisäilman laadun kannalta on tärkeää, että ilmanvaihto on riittävää suhteessa tilojen käyttöön. Lisäksi likaisten tilojen, kuten kellari- ja wc-tilojen tulee olla alipaineiset suhteessa puhtaisiin tiloihin, jotta ilmaa ei virtaa näistä tiloista puhtaisiin tiloihin. Sisätilojen tulee olla ulkoilmaan nähden tasapaineiset

tai hieman alipaineiset (STM 2009, s. 64; Laine 2014, s. 61). Painesuhteet on selvitettävä vähintään viikon kestäväällä paine-erojen seurannalla. (Aalto ym. 2008, s. 234.)

Tilojen parantunut tiiviys voi lisätä tilan alipaineisuutta ulkoilmaan nähden, mikäli osa korvausilmasta on ennen korjausta tullut rakenteiden ilmavuotoina, eikä tuloilman poiston säätöjä muuteta. Lisäksi parantunut tiiviys voi aiheuttaa paine-erojen tavallista suurempaa vaihtelua, minkä vuoksi ilmanvaihdon tasapainotuksella on suurempi merkitys tiiviiden kuin vähemmän tiiviiden vaipparakenteiden tapauksessa (Jokisalo ym. 2007, s. 243–244). Ilmavuototiivistysten jälkeen säätötyö on tämän vuoksi tehtävä erityisen huolellisesti.

3.1.6 Ilmavuototiivistysten yhtenäisyys

Rakennuksen kokonaisilmatiiviyden kannalta on olennaista, että rakenneosien ilmansulut liittyvät toisiinsa, ja ilmatiivis kerros on yhtenäinen (Aho & Korpi 2009, s. 1). Pienetkin epätiiviyskohdat ilmansulussa voivat aiheuttaa suuria ilmavirtauksia, minkä vuoksi esimerkiksi passiivitalojen ilmanvuotoluvun n_{50} maksimiarvo 0,6 1/h on tavanomaisille rakennuksille suositeltavaa arvoa 1,0 1/h huomattavasti pienempi (RakMK D3 2010, s. 11; RIL 250-2011, s. 77). Vaipparakenteita tiivistettäessä on sisäilman laadun parantamisen kannalta tärkeää tiivistää kauttaaltaan sellaiset rakenteet, joista epäpuhtauksia sisältävää ilmaa voi tulla sisäilmaan (Aalto ym. 2008, s. 231). Tiivistystyön voi kuitenkin rajata koskemaan vain yksittäistä rakenneosaa, esimerkiksi alapohjaa liittymineen, mikäli arvioidaan, että tällä päästään haluttuun lopputulokseen (Aalto ym. 2008, s. 234).

Rakenteen epätiiviyskohdan läpi virtaavan ilman määrä riippuu rakenteen yli vaikuttavasta paine-erosta, epätiiveyskohdan koosta, muodosta, virtausteknisistä vastuksista sekä rakenteen paksuudesta (Çengel 1998, s. 375). Rakenteessa ilmavirtausta esiintyy jokaisessa epätiiviyskohdassa, minkä vuoksi kaikki epätiiviyskohdat on tiivistettävä, kun ilmavirtaukset halutaan poistaa kokonaan. Mikäli paine-ero kuitenkin pysyy muuttumattomana, vuotoilman määrä pienenee epätiiviyiskohtien yhteenlasketun pinta-alan pienentyessä, minkä vuoksi rakenteiden osittainenkin tiivistäminen pienentää huonetilaan siirtyvän epäpuhtaan ilman määrää. Ilmavuototiivistyksissä sisäilmaan päätyvän epäpuhtaan vuotoilman määrä vähenee, vaikka täydelliseen tiiviyteen ei päästäisikään. Koska korjauksen tavoite on vähentää epäpuhtauksien määrää sisäilmassa, on tiivistystyössä kuitenkin syytä pyrkiä mahdollisimman hyvään tiiviyteen.

3.2 Ilmavuototiivistysten pysyvyys

3.2.1 Ulkovaipparakenteiden ilmatiiviyden pysyvyys tutkimuksissa

Rakennusten ilmatiiviyden pysyvyyttä sekä tiivistysmateriaalien toimintaa on tutkittu Suomessa siitä lähtien, kun ilmatiiviyteen alettiin 1970-luvulla kiinnittää aiempaa enemmän huomiota (Polvinen ym. 1983, s. 11–12; Metiäinen ym. 1986, s. 48). Kauppa- ja teollisuusministeriö (KTM) käynnisti 1970-luvun lopulla hankkeen, jonka tarkoituksena oli lisätä tietoutta ulkovaipparakenteiden ilmanpitävyydestä. Lisäksi tarkoituksena oli laatia tiivistämisohjeita sekä tutkia ilmatiiviyden taloudellisia vaikutuksia. Tutkimuksia ulkovaipparakenteiden ilmatiiviyden muuttumisesta ajan myötä on kuitenkin tehty vain vähän, ja varsinaisista sisäilmakorjausten yhteydessä tehtävien ilmavuototiivistysten pysyvyydestä sitäkin vähemmän.

Kauppi (1985) tutki uusien asuntomessutalojen ulkovaipan ilmatiiviyden muuttumista niiden valmistumisen jälkeen. Talojen ilmatiiviyteen oli kiinnitetty rakentamisvaiheessa

erityistä huomiota, sillä messujen teemana oli energiatehokkuus (Kauppi 1985, s. 6). Talojen todettiin olevan keskimääräisiä suomalaisia omakotitaloja tiiviimpiä. Tutkimuksessa havaittiin, että talojen ilmapitävyys heikkeni keskimäärin alle 10 % talojen valmistumista seuraavan puolen vuoden aikana ja pysyi ennallaan seuraavan vuoden ajan. (Kauppi 1985, s. 3.)

Toisessa tutkimuksessa (Metiäinen ym. 1986) seurattiin 34 uuden ja yhdeksän 23–40 vuotta vanhan talon ilmatiiviyden muuttumista. Uudisrakennuksista suuri osa oli samoja asuntomessutaloja kuin Kaupin (1985) tutkimuksessa, mutta mukana oli kuitenkin myös muita rakennuksia. Rakennuksista suurin osa oli puurunkoisia. Tutkimuksessa havaittiin, että puu- ja tiilirunkoisten uusien rakennusten ilmanpitävyys heikkeni kolmen vuoden seurantajakson aikana, mutta betoni- ja kevytbetonirunkoisissa rakennuksissa heikkenemistä ei havaittu. Tuloksien vertailukelpoisuutta heikensivät joidenkin kohteiden asukkaiden suorittamat tiivistystoimenpiteet, jotka tehtiin seurantajakson aikana. (Metiäinen ym. 1986, s. 12, 14, 32, 55).

Tyypillisimpiä ulkovaipparakenteiden ilmanvuotokohtia ovat edellä mainituissa tutkimuksissa olleet rakenteiden, erityisesti yläpohjien ja ulkoseinien liitokset, ikkunoiden ja ulkoseinien liitokset sekä höyrynsulkujen saumat ja erilaiset läpiviennit (Polvinen ym. 1983, s. 137; Kauppi 1985, s. 3). Tutkimuksissa arvioitiin, että suurimmat syyt ilmapuutoksiin olivat puutteellinen suunnittelu, huolimaton toteutus sekä väärät työtavat (Kauppi 1985, s. 3). Eräässä toisessa tutkimuksessa (Vinha ym. 2005), jossa tutkittiin sadan puurunkoisen pientalon ja kahden hirsitalon tiiviyttä ilmapuutoksille havaittiin, että uudemmat rakennukset olivat hieman vanhoja tiiviimpiä. Myös tässä tutkimuksessa rakennustyön huolellisuudella katsottiin olevan suuri merkitys lopulliseen ilmatiivyyteen, sillä keskenään samankaltaisissa taloissa hajonta ilmatiivyyksissä oli suurta (Vinha ym. 2005, s. 95).

Ulkovaipparakenteiden ilmansuluissa ja ilmansulun liitoskohdissa on käsiteltyjen 1980-luvulla tehtyjen tutkimusten aikaan käytetty polyeteenistä valmistettuja muovikalvoja, muovi- tai alumiinipintaisia rakennuspapereita, muovipintaisia puukuitulevyjä, muovipintaisia mineraalivillanauhoja, avosoluisesta polyuretaanivaahdosta valmistettuja tai kumisia tiivistysnauhoja, yksi- ja kaksikomponenttisia saumausmassoja, polyuretaanivaahdosta sekä erilaisia teippejä, joiden liima-aineista ei ole ollut saatavilla tietoa (Polvinen ym. 1983, s. 57, 60–65). Höyrynsulkumuovien teippaamisessa on käytetty tavallisia maalarinteippejä, pakkausten sulkemiseen tarkoitettuja teippejä sekä ilmastointiteippejä (Polvinen ym. 1983, s. 66; Rautiainen & Nousiainen 1984, s. 85).

Nykyään sisäilmastoteknisten korjausten yhteydessä tehtävissä ilmapuutotiivistyksissä käyttävät materiaalit poikkeavat edellisistä. Ilmapuutotiivistyksissä käytetään nykyisin vedeneristemassoja ja vahvikekankaita, butyylimassapintaisia elastisia teippejä, muovi- ja epoksinpinnoitteita sekä elastisia saumausmassoja, joita tutkittiin myös tässä tutkimuksessa (luku 4.2). Näillä materiaaleilla tehtyjen ilmapuutotiivistysten pysyvyydestä on tehty yksi opinnäytetyö (Sobott 2014). Muutoin tieto tiivistysten pysyvyydestä perustuu ilmapuutotiivistyksiä teettäneiden ja suunnitelleiden tahojen kokemuksiin, joista on raportoitu hyvin vähän.

3.2.2 Ilmapuutotiivistysten pysyvyys tutkimuksissa

Ilmapuutojen tiivistämistä on käytetty osana korjausmenetelmiä 2000-luvun alusta lähtien Suomessa sadoissa sisäilmaongelmaisissa kohteissa (Laine 2014, s. 13). Ilmapuuto-

tiivistysten käytöstä sisäilmastoteknisissä korjauksissa muualla kuin Suomessa ei tämän tutkimuksen yhteydessä löydetty viitteitä.

Kokemuksia on sekä tiivistysten onnistumisesta että epäonnistumisesta. Tiedetään, että tiivistämällä ilmapuodot on useissa kohteissa saatu aikaan toivottuja parannuksia sisäilman laatuun (Niemi 2012, s. 189; Laine 2013, s. 182; Kettunen 2013, s. 172; Ahonen 2007, s. 114). Toisaalta kokemuksia tiivistysten epäonnistumisestakin on paljon (Sobott 2014, s. 61). Epäonnistumisten syinä ovat usein olleet puutteellinen suunnittelu tai laadunvarmistus, huolimaton toteutus sekä korjaustavan soveltumattomuus tiivistettävään rakenteeseen (Laine 2014, s. 9–10).

Opinnäytetyössä (Sobott 2014) tutkittiin 1–5 vuotta vanhojen ilmapuodotiivistysten nykyntoa 11 eri rakennuksessa. Tiivistyksistä suurin osa oli tehty Ardex 8+9 -vedeneristemassalla ja vahvikekankaalla tai elastisilla saumaussmassoilla. Yksittäisiä tiivistyksiä oli tehty myös epoksipohjustimella tai butyylliteipillä. Tiivistysten tiiviys tutkittiin tutkimuksessa merkkiainekokein. Tutkimuksessa tehtiin vain joitakin rakennevauksia, eikä kaikkien tiivistysten toteutustapaa selvitetty. (Sobott 2014, s. 12–56.)

Kaikkien rakennusten tiivistyksissä havaittiin ilmapuotoja (Sobott 2014, s. 61). Kolmesta rakennuksesta löydettiin kuitenkin myös tiiviitä tiivistyksiä. Nämä tiivistykset olivat noin 1–4 vuotta vanhoja. Niiden toteutustavasta ei kerrota tarkasti. Ensimmäisessä kohteessa vuosi sitten elastisella saumaussmassalla tehty lattian ja ulkoseinän liittymän tiivistys oli säilyttänyt tiiviytensä (Sobott 2014, s. 15, 40). Toisessa kohteessa neljä vuotta sitten Ardex 8+9 -vedeneristemassalla tehty yläpohjan ja ulkoseinän liittymän tiivistys oli säilyttänyt tiiviytensä (Sobott 2014, s. 28, 48). Ilmi ei käy, oliko vedeneristemassan kanssa käytetty vahvikenauhaa. Kolmannessa kohteessa vuosi sitten tehty yhden tilan tiivistys oli pääosin säilyttänyt tiiviytensä: puotoja havaittiin vain kohdissa, joissa pintamateriaalien asennus oli rikkonut tiivistyksen (Sobott 2014, s. 30, 49). Tilan ulkoseinän tiivistyksissä oli käytetty Ardex 8+9 -vedeneristettä, Ardex STB 15-75 -butyylliteippiä sekä jotakin elastista massaa, mutta toteutustavasta ei kerrota tarkemmin (Sobott 2014, s. 30, 49).

Myöskään kaikkien epätiiviiksi todettujen tiivistysten toteutustapa ei käy tutkimuksesta ilmi. Kolmessa rakennuksessa löydettiin tiivistyksiä, jotka oli tutkimuksen mukaan tehty tiivistyssuunnitelmien mukaan. Ensimmäisessä rakennuksessa havaittiin puotoja viisi vuotta sitten Ardex 8+9 -vedeneristemassalla, vahvikekankaalla sekä polyeteenikalvolla tehdyssä tiivistyksessä. Tämä tiivistys oli tutkimuksen mukaan tehty pääosin suunnitelmien mukaisesti. Sitä, miten toteutus poikkeaa suunnitelmista, ei ole mainintaa (Sobott 2014, s. 25–26, 46–47). Toisessa rakennuksessa havaittiin puotoja 3–5 vuotta sitten Ardex 8+9 -vedeneristemassalla ja vahvikekankaalla tehdyssä tiivistyksessä. Tiivistys oli tutkimuksen mukaan tehty suunnitelmien mukaisesti. Tutkimuksen mukaan tiivistystyön laadunvarmistukseksi tehdyt merkkiainekokeet viittaavat kuitenkin siihen, että tiivistyksiä ei ollut saatu täysin tiiviiksi alun perinkään (Sobott 2014, s. 35, 51). Kolmannessa rakennuksessa Ardex STB 15-75 -butyylliteipillä ja jollakin elastisella massalla neljä vuotta sitten tehdyt tiivistykset oli tutkimuksen mukaan tehty suunnitelmien mukaisesti, mutta niiden tiiviystä ei ole mainintaa (Sobott 2014, s. 48).

Tutkimuksen mukaan merkittävimmät syyt tiivistysten epätiiviyteen olivat työvirheet ja puutteellinen laadunvarmistus (Sobott 2014, s. 55–56). Useissa kohteissa tiivistykset oli myös tehty ilman varsinaisia suunnitelmia (Sobott 2014, s. 55). Tutkimuksen mukaan

niissä kohdissa, missä vuotoja ei havaittu, oli tiivistystyö kuitenkin tehty pääosin suunnitelmien mukaisesti (Sobott 2014, s. 61).

Artikkelissa (Lahtinen ym. 2008) kerrotaan erään peruskorjauksen yhteydessä tehtyjen ilmapuototiivistysten kestävydestä. Rakennuksen alkuperäisiin puupalkkivälipohjiin oli tehty ilmapuototiivistyksiä epäpuhtauksien kulkeutumisen estämiseksi. Tiivistysten tiiviys mitattiin merkkiainekokeella sekä tiivistysten valmistuttua että seurantamittauksena vuoden kuluttua. Seurantamittauksessa tiivistykset olivat yhtä tiiviit kuin vuotta aikaisemmin. Merkkiainekokeissa, jotka tehtiin alle 10 Pa alipaineessa, vuotoja välipohjarakenteesta huonetiloihin ei havaittu lainkaan. 50 Pa alipaineessa vuotoja havaittiin, mutta rakenteen katsottiin olevan riittävän tiivis epäpuhtauksien leviämisen estämiseksi. Rakenteen tiivistystapaa ei mainita. (Lahtinen ym. 2008, s. 12–13, 15.)

3.2.3 Ilmapuototiivistysmateriaaleille asetettavat vaatimukset

Ilmapuototiivistyksissä käytetään nykyisin vedeneristemassoja ja vahvikekankaita, butyylimassapintaisia elastisia teippejä, muovi- ja epoksinnoitteita, polyuretaanivaahoja sekä elastisia saumaussmassoja. Tässä tutkimuksessa tutkittiin kaikkia edellisiä lukuun ottamatta elastisia saumaussmassoja. Materiaaleja tuoteniminen on esitelty luvun 4.2.1 taulukossa 3. Lisäksi ilmapuototiivistysmateriaaleiksi voidaan laskea kaikki ilmasulkuna toimivat rakenteet. Näihin kohdistuu osittain samoja rasituksia kuin tiivistystuotteisiin.

Ilmapuototiivistyksissä käytettävien materiaalien on ennen muuta oltava hyvin ilmanpitäviä, ja säilytettävä tämä ominaisuus koko materiaaleilta edellytetyn käyttöajan (Aho & Korpi 2009, s. 1). Tiiviys kaasun diffuusiolla ei sen sijaan ole välttämätöntä, ja esimerkiksi vedeneristemassat läpäisevät usein vesihöyryä (RIL 255-1-2014, s. 249–250; Laine 2014, s. 9). Tiivistysmateriaalien on lisäksi kestävä rakenteiden taipumisesta ja painumisesta aiheutuvat sekä lämpö- ja kosteusmuodonmuutokset (Aalto ym. 2008, s. 231).

Tutkimuksessa (Rautiainen & Nousiainen 1984) tutkittiin erilaisten höyrinsulkutuotteiden, tiivistysteippien ja saumaustarvikkeiden ominaisuuksia. Lisäksi tutkittiin, millaisia rasituksia kyseisiin tuotteisiin kohdistuu, kun ne toimivat osana rakennuksen ilmansulkua. Tutkimuksessa tiivistysteipit olivat maalarinteippejä, ilmastointiteippejä, pakkaus-teippejä ja sähköasennusteippejä, joissa tukikerros koostui paperista, kankaasta, kovasta tai pehmeästä polyvinyylikloridista tai alumiinista. Höyrinsulkutuotteina käsiteltiin polyeteenikalvot, alumiini- tai muovipinnoitetut rakennuspapereit sekä muovilla pinnoitetut rakennuslevyt. Saumaustarvikkeilla käsiteltiin esimerkiksi polyuretaanivaahdot sekä butyyli-, polyuretaani- ja elastiset massat. (Rautiainen & Nousiainen 1984, s. 82–85, 107–108.)

Höyrin- tai ilmansulkuun sekä sen reunoissa ja liitoksissa käytettäviin erilaisiin tiivistys- ja saumausaineisiin voi kohdistua vähäistä lämpörasitusta esimerkiksi lämmityslaitteiden tai auringonpaisteen vuoksi (Rautiainen & Nousiainen 1984, s. 88). Lämpörasituksen vanhentavan vaikutuksen vuoksi höyrinsulkuna toimivan polyeteenimuovin lujuus voi rasituksen jatkuessa hävitä (Rautiainen & Nousiainen 1984, s. 88). Lämpörasitus voi aiheuttaa tiivistysteipeissä teipin liimakerroksen vanhenemista ja mahdollisesti tukikerroksen kutustumista sekä erilaisten lisäaineiden vapautumista rakenteisiin tai ilmaan (Rautiainen & Nousiainen 1984, s. 88–89). Lämpörasituksen jatkuminen yleensä heikentää teipin tartuntaa alustaan (Rautiainen & Nousiainen 1984, s. 89). Teipit voivat irrota myös matalan lämpötilan vaikutuksesta (RIL K38-1985, s. 152). Nykyisin höy-

rynsulkutuotteilta edellytetään joustavuutta, hyvää veto-, puhkaisu- ja repäisylujuutta, tiivistettävyyttä, saumattavuutta ja pitkäaikaiskestävyyttä (RIL 255-1-2014, s. 99).

Kosteusrasitus voi heikentää paperi- ja puupohjaisten tuotteiden lujuuksia (Rautiainen & Nousiainen 1984, s. 88–89). Kosteus voi myös heikentää tiivistysmateriaalien tartuntaa alustaan, vaikuttaa tuotteiden kovettumisreaktioihin ja aiheuttaa tuotteiden ominaisuuksia heikentäviä kemiallisia reaktioita (Rautiainen & Nousiainen 1984, s. 119). Lämpö- ja kosteusmuodonmuutoksia ei tapahdu lämmöneristekerroksen lämpimällä puolella siinä määrin kuin kylmällä puolella, minkä vuoksi ilmavuototiivistystuotteisiin kohdistuva rasitus on esimerkiksi julkisivumateriaaleihin kohdistuvaa huomattavasti vähäisempää (Rautiainen & Nousiainen 1984, s. 117). Mekaaniset rasitukset voivat aiheuttaa saumausmassoissa ja -vaahdoissa palautumattomia muodonmuutoksia, tartunnan heikkenemistä alustaan sekä kemiallisia vanhenemisreaktioita (Rautiainen & Nousiainen 1984, s. 119).

Tiivistystarvikkeisiin saattaa kohdistua sekä uusissa että vanhemmissa rakennuksissa mekaanista rasitusta rakenteiden painumisen, rungon taipumien tai puurakenteissa kosteusmuodonmuutosten vuoksi (Rautiainen & Nousiainen 1984, s. 89, 116, 119; Aho & Korpi 2009, s. 1). Tämä tekee ilmanpitävien liitosten ja detaljien suunnittelusta haastavaa (Aho & Korpi 2009, s. 1). Haastavia ovat lisäksi eri materiaalien, esimerkiksi puun ja kivirakenteiden, väliset liitokset (Aho & Korpi 2009, s. 1).

Mekaanisten muodonmuutosten vuoksi tartunnalla ja tiivistysmateriaalin elastisuudella on suuri merkitys tiivistyksen pysyvyydelle. Tiivistyksen tartunta alustaan mahdollistaa tiivistyksen myötäämisen rakenteiden muodonmuutoksissa. Tiivistyksen tartunnan on oltava sitä parempi, mitä jäykempää tiivistysmateriaali on. Tiivistysmateriaalin elastisuus on hyvä ominaisuus, koska elastisuus vähentää tiivistyksen tartuntaan kohdistuvaa rasitusta. Kuitenkaan esimerkiksi ohutta elastista saumausta ei pidetä riittävänä rakenteeseen syntyneen raon tiivistämisessä (Aalto ym. 2008, s. 231–232). Ei-elastiset saumausmassat saattavat halkeilla, minkä vuoksi nekaan eivät ole hyviä tuotteita ilmavuototiivistyksissä, joilta vaaditaan hyvää pitkäaikaiskestävyyttä (RIL 255-1-2014, s. 310).

Sisäilmastoteknisissä korjauksissa tulee käyttää materiaaleja, joista ei haihdu ilmaan haitallisia yhdisteitä merkittäviä määriä. Ilmavuototiivistyksissä käytettävien materiaalien suositellaan olevan M1-luokiteltuja (Aalto ym. 2008, s. 235). M1 on Rakennustietosäätiö RTS:n myöntämä luokitus rakennustuotteille, joista ei ole testeissä todettu haihtuvan ilmaan merkittäviä määriä epäpuhtauksia (M1-vaatimukset ja luokiteltujen tuotteiden käyttö, RTS:n sivusto 23.8.2015).

4 Merkkiainetutkimukset, rakenneavaukset ja tartuntavetolujuusmittaukset

4.1 Merkkiainetutkimukset ja rakenneavaukset

4.1.1 Merkkiainetutkimusten ja rakenneavausten tutkimusaineisto

Tutkimukseen valittiin seitsemän Vantaan kaupungin hallinnoimaa julkista rakennusta, joihin oli tehty ilmavuototiivistyksiä. Rakennusten valinta suoritettiin kaupungin edustajien ehdotusten perusteella. Valitsemaan pyrittiin rakennuksia, joissa tehty ilmavuototiivistykset ovat mahdollisimman vanhoja. Lisäksi pyrittiin valitsemaan rakennuksia, joissa oli eri tekniikoin ja materiaalein toteutettuja tiivistyksiä. Osittain valintoihin vaikutti myös kaupungin edustajien halu valita kohteita, joihin tehtävistä tutkimuksista on eniten hyötyä. Tiivistysten iän ja materiaalien lisäksi kohteille ei asetettu muita kriteereitä, sillä tavoitteena ei ollut selvittää, miten usein tiivistykset onnistuvat tai epäonnistuvat, vaan kerätä tietoa siitä, mistä syistä tiivistykset voivat epäonnistua, ja millä menetelmillä ja materiaaleilla tehty tiivistykset ovat säilyttäneet tiiviytensä.

Aineistoon päätyi näin ollen rakennuksia, joissa tehty tiivistykset olivat 1–4 vuotta vanhoja ja tehty enimmäkseen butyyli-pohjaisilla teipeillä ja vedeneristemassoilla. Suurin osa tiivistyksistä oli tehty tasoitetulle tai tasoitetulle ja maalatulle tiili- tai betonipinnalle, muovi-, vinyylilaatta- tai linoleumlattiapinnoitteelle, sementtipohjaiselle lattiatasoitteelle tai maalatulle puulle. Aineistossa oli niin rakennuksia, joihin oli tehty ilmavuototiivistyksiä laajamittaisten kosteusvauriokorjausten yhteydessä kuin rakennuksia, joissa ilmavuototiivistykset olivat pääasiallinen korjaustoimenpide, jonka yhteydessä oli uusittu vain pintarakenteita.

Kustakin rakennuksesta valittiin tutkittavaksi 1–4 tilaa, yhteensä 16 kappaletta. Kaikki tilat olivat oleskelukäyttöön tarkoitettuja lämpimiä sisätiloja: toimistohuoneita, hoitotiloja tai opetustiloja. Mikään tiloista ei ollut märkätila. Kaikki rakennukset olivat tutkimusten aikaan käytössä, joten tilojen valinta jouduttiin suorittamaan rakennusten käyttäjien toiveiden mukaan. Käyttäjien toiveisiin puolestaan vaikuttivat aikataulu ja tilojen joutilaisuus sekä osin myös tiloissa parhaillaan koettava sisäilmaston laatu-ongelmiin viittaava oireilu. Tiloista kymmenessä käyttäjät kokivat jonkinasteisia terveysoireita. Kahdessa tilassa oireilua ei koettu, ja neljän tilan osalta asiasta ei saatu tietoa tai sitä ei selvitetty.

Kohderakennusten ilmavuototiivistykset oli tehty enimmäkseen ala-, ylä- tai välipohjan ja ulkoseinän liittymiin, pilarien tai palkkien ja ulkoseinän liittymiin sekä ikkunoiden ja ulkoseinän liittymiin. Yläpohjan tai alapohjan muita liittymiä, elementtisaumoja tai erilaisia läpivientikohtia ei ollut tiivistetty yhtä usein. Eniten tutkittiin mainittuihin yleisimpiin kohtiin tehtyjä tiivistyksiä.

Kaikkien tutkittujen tilojen osalta ei pystytty varmistumaan niiden tarkasta korjausajankohdasta, sillä korjaustöiden toteutusvaiheesta ei ollut saatavilla tarkkaa dokumentaatiota. Näissä tiloissa korjausajankohta arvioitiin korjaussuunnitelmien päivämäärien ja muiden tutkimusten ajankohtien perusteella. Tiivistysten ikään liittyvä epävarmuus on huomioitu tulosten käsittelyssä.

Kohteet, niiden rakennusvuodet, tutkitut tilat ja rakenneliittymät sekä tiivistysten iät on esitetty taulukossa 1. Tutkittujen tilojen tiivistyshistoria, rakenteet ja tiivistysmateriaalit on esitelty tulosten yhteydessä luvussa 5.1.

Taulukko 1. Rakennukset ja tilat, joissa tehtyjä ilmavuototiivistyksiä tutkittiin. Tutkittu rakenneliittymä tarkoittaa, että sen ilmatiiviys mitattiin, ja tiivistysten laatu tutkittiin rakenneavauksin. Tutkitun tilan numero tarkoittaa tilan järjestysnumeroa ja rakenneavauksen numero rakenneavauksen järjestysnumeroa. Viimeisessä sarakkeessa oleva ikä tarkoittaa tiivistyksen ikää vuosina. Kaikki rakennukset sijaitsevat Vantaalla.

| Kohde | Rakennus- vuosi | Tutkitun tilan numero | Tutkittu rakenneliittymä | Rakenne- avauksen numero | Ikä (v) |
|-------|--------------------|-----------------------------|---|--------------------------------|-------------------|
| A | 1988 | 1 | alapohjan ja ulkoseinän liittymä | 1 | 2,5 ¹⁾ |
| | | 2 | alapohjan ja ulkoseinän liittymä | 2 | 2,5 ¹⁾ |
| B | 1980 | 3 | välipohjan ja ulkoseinän liittymä | 3 | 3 ¹⁾ |
| C | 1986 | 4 | alapohjan ja ulkoseinän liittymä | 4 ja 5 | 3,5 |
| | | 5 | alapohjan ja ulkoseinän liittymä | 6 ja 7 | 3,5 |
| | | 6 | alapohjan ja ulkoseinän liittymä, ikkunan ja ulkoseinän liittymä | 8 | 3,5 |
| | | 7 | alapohjan ja ulkoseinän liittymä, ikkunan ja ulkoseinän liittymä | 9 ja 10 | 3,5 |
| D | 1988 | 8 | alapohjan ja ulkoseinän liittymä | 11 | 2,5 ¹⁾ |
| E | 1970 | 9 | välipohjan ja ulkoseinän liittymä, pilarin ja välipohjan liittymä | 12 ja 13 | 0,5 |
| | | 10 | ikkunan ja ulkoseinän liittymä, pilarin ja ikkunan liittymä, pilarin ja ulkoseinän liittymä | 14, 15 ja 16 | 3,5 ¹⁾ |
| F | 1980 | 11 | välipohjan ja ulkoseinän liittymä | 17 | 1 ¹⁾ |
| | | 12 | välipohjan ja ulkoseinän liittymä | 18 ja 19 | - ²⁾ |
| | | 13 | alapohjan ja ulkoseinän liittymä | 20 | 1,5 ¹⁾ |
| | | 14 | alapohjan ja ulkoseinän liittymä, ikkunan ja ulkoseinän liittymä, ulkoseinäelementtien liittymä | 21, 22 ja 23 | 1,5 ¹⁾ |
| G | 1991 | 15 | alapohjan ja ulkoseinän liittymä | 24 | 1,5 ¹⁾ |
| | | 16 | alapohjan ja ulkoseinän liittymä | 25 ja 26 | 1,5 ¹⁾ |

¹⁾ Arvioitu suunnitelmien ja laadunvarmistusmerkkiainekokeiden tai muiden tutkimusten päivämäärien perusteella.

²⁾ Tarkkaa tietoa tiivistysten iästä ei ole saatavilla. Todennäköinen ikä on 1–3 vuotta.

4.1.2 Epätiiviyskohtien paikantamiseen käytetty merkkiainemenetelmä

Kaikissa kohteissa mitattiin tiivistysten ilmatiiviyttä merkkiaineella. Tässä tutkimuksessa käytetyssä menetelmässä merkkiaineena oli kaasu, jota laskettiin rakenteiden sisälle, ja jonka kulkeutumista rakenteista sisäilmaan seurattiin kaasun havaitsevalla analysaattorilaitteella. Mikäli kaasua kulkeutui rakenteiden liittymistä sisäilmaan, liittymissä oli epätiiviyskohtia. Epätiiviyskohtien sijainnit on menetelmän perusteella mahdollista paikantaa melko tarkasti, jolloin saadaan tietoa siitä, mistä kohdista rakenteista yleensäkin virtaa sisälle epäpuhtauksia sisältävää ilmaa, ja mitkä kohdat on tiivistettävä, jotta näin ei tapahtuisi. Käytetty epätiiviyskohtien paikannusmenetelmä on sama, joka on yleisesti

käytössä muun muassa ilmavuototiivistysten työmaa-aikaisessa laadunvarmistuksessa (Hintikka 2013, s. 22; Sobott 2014, s. 8). Menetelmää käytetään myös sisäilmastotekniikassa kuntotutkimuksissa riskitekijöiden kartoittamiseen, kun halutaan selvittää, voiko sisäilmaan virrata epäpuhdasta ilmaa jostakin rakenteesta. Lisäksi menetelmää käytetään radonin kulkeutumisreittien kartoittamiseen (Arvela ym. 2012, s. 123).

Käytetystä menetelmästä ei toistaiseksi ole olemassa standardia tai muuta virallista ohjeistusta. Menetelmää on jonkin verran tutkittu opinnäytetöissä (Lesonen 2010, Hintikka 2013, Sobott 2014). Lisäksi sitä on käsitelty yleisluontoisesti oppaissa (Aalto ym. 2008, s. 229–230; Arvela ym. 2012, s. 123; Laine 2014, s. 55–56, 64–69). Merkkiainetutkimuksen suorittamisesta on tekeillä RT-ohjekortti. Merkkiaineilla, joina on käytetty muun muassa savua, hiilidioksidia, typpioksiduulia ja rikkiheksafluoridia, on jo vuonna 1985 tutkittu muun muassa rakennusten ilmanvaihtuvuutta, ilmanvaihdon tehokkuutta ja tupakansavun kulkeutumista rakennuksen eri osien välillä (Kauppi 1985, s. 12–13; KTM 1986, s. X, 191; Metiäinen ym. 1986, s. 83; STM 2009, s. 63).

Menetelmä merkkiaineen käyttämisestä rakenteiden epätiiviyiskohtien paikantamiseen kehittyi Kärkkäisen (Jukka Kärkkäisen haastattelu 11.6.2015) mukaan Suomessa 1990-luvulla, kun sisäilmasto-ongelmia aiheuttavien epäpuhtauksien leviämistä ilmavuotojen mukana alettiin epäillä. Merkkiainemenetelmän käyttökelpoisuus perustuu siihen, että se antaa, toisin kuin esimerkiksi standardiin SFS-EN 13829 perustuva ilmanpitävyysmittaus, hyvin tarkkaa tietoa rakenteiden epätiiviyiskohtien olemassaolosta ja niiden sijainnista, mikä on tärkeää käytännön tiivistystyössä ja sen suunnittelussa (Lesonen 2010, s. 99). Lisäksi menetelmällä on mahdollista paikantaa hyvin pienetkin vuotokohdat. Esimerkiksi radonin kulkeutuminen kartoituksessa sillä löydetään sellaisetkin vuodot, jotka eivät ole huonetilan radonpitoisuuden kannalta merkittäviä (Arvela ym. 2012, s. 124). Merkkiainemenetelmään liittyy kuitenkin tietty epätarkkuus: useat eri tekijät vaikeuttavat merkkiaineen pitoisuuden vakioimista rakenteen sisällä, minkä vuoksi esimerkiksi eri vuotokohtien välistä suuruutta on menetelmällä hankala arvioida.

Ilmavuotojen paikantamisessa käytetään myös lämpökuvausta, joka on ilmanpitävyysmittauksen tavoin ilmavuotojen osoittamisessa merkkiainemenetelmää hieman epätarkempi. Lisäksi lämpökuvaus edellyttää erityisiä olosuhteita, esimerkiksi riittävän suurta ja vakaana pysyvää lämpötilaeroa rakennuksen sisä- ja ulkopuolen välillä (RT 2005, s. 3). Merkkiainetutkimuksissa vastaavaa rajoitusta ei ole.

Seuraavassa kuvataan menetelmä, jota on käytetty tämän tutkimuksen yhteydessä. Tässä esitellyt yksityiskohdat perustuvat edellä mainittujen opinnäytetöiden tuloksiin, oppaisiin sekä kokemuseräiseen tietoon, joka on saatu henkilöiltä, jotka ovat suorittaneet merkkiainetutkimuksia.

Merkkiainetutkimukseen tarvitaan erityinen välineistö. Tässä tutkimuksessa käytetty välineistö on esitetty kuvassa 1. Kaasun havaitsemiseen käytetty analysaattorilaite on esitetty kuvassa 2a.

Merkkiaineena tässä tutkimuksessa käytettiin rikkiheksafluoridia (SF_6). Rikkiheksafluoridi on kemiallisesti valmistettu ja tavanomaisissa sisä- ja ulkoilmaolosuhteissa inertti kaasu. Se on väritöntä ja lähes hajutonta (Aga 2013, s. 5). Rikkiheksafluoridi on voimakas kasvihuonekaasu. Sen molekyylipaino (146,06 g/mol) on suurempi kuin ilmassa esiintyvien kaasujen, minkä vuoksi sillä on taipumus vajota alaspäin. Verrattaessa esimerkiksi Formier 5 -kaasuun, joka on 95-prosenttinen typen ja 5-prosenttinen ve-

dyn seos ja jota myös käytetään merkkiaineena ilmatiiviysmittauksissa, rikkiheksafluoridin on havaittu leviävän rakenteisiin vetyseoskaasua tasaisemmin ja pysyvän niissä pidempään. Se on kokemuksen mukaan myös vähemmän altis kulkeutumaan pois ei-haluttujen ilmavirtausten mukana. (Hintikka 2013, s. 36, 55, 57.)

Merkkiainekokeen suoritus aloitetaan määrittelemällä tutkittava rakenne. Tämä voi olla esimerkiksi ulkoseinän ja alapohjan liittymä, jonka kautta epäillään kulkeutuvan vuotoilmaa huonetilaan. Vuotoilman todennäköinen reitti riippuu rakenneratkaisusta. Jos esimerkiksi ei-kantava puurakenteinen ulkoseinä on tuettu alapohjalaatan päälle, vuotoilma virtaa huoneeseen todennäköisesti ulkoseinän eristetilasta. Jos seinässä on betonirakenne, joka jatkuu ulkoseinästä sokkelina alapohjalaatan alapuolelle, vuotoilma virtaa todennäköisesti alapohjan eristetilasta. Rakenne tulee selvittää piirustuksista ja paikalla tarkastelemalla, jotta tiedetään, minne merkkiainekaasu on laskettava.



Kuva 1. Merkkiainetutkimuksessa tarvittavat välineet. 1: kärry välineiden kuljettamiseen ja analysaattorilaitteen liikutteluun tutkimuksen aikana. 2: alipaineistimen tuuletin. 3: alipaineistimen kangas. 4: kaasupullo mittareineen ja kaasunlaskuletku. 5: sinitarraa ja tiivistemassaa koetta varten porattujen reikien tukkimiseen. 6: alipaineistimen kehikko. 7: tukikeppi analysaattorilaitteen ilmaletkun liikuttelua varten. 8: poravasara kaasunlaskureikien poraamista varten. 9: jatkojohto. 10: paine-eromittari. 11: analysaattorilaitte ja sen ilmaletku. 12: laukku kaasupullon mittaristolle.

Merkkiainekaasu lasketaan siihen tilaan, josta vuotoilman epäillään kulkeutuvan sisäilmaan. Kaasun syöttäminen esimerkiksi ulkoseinän eristetilaan on yleensä mahdollista sekä rakennuksen sisä- että ulkopuolelta, mutta saatavilla on ristiriitaista tietoa siitä,

miten menetelmät vaikuttavat kaasun kulkeutumiseen vuotokohtiin (Sobott 2014, s. 57). Laskettaessa kaasua sisäpuolelta on kiinnitettävä huomiota siihen, että kaasua ei kulkeudu sisäilmaan kaasunlaskuputken liitosten kautta (Hintikka 2013, s. 34; Sobott 2014, s. 57). Ulkopuolelta laskettaessa vastaavaa riskiä ei ole. Lisäksi ulkopuolelta laskettaessa höyrynsulku ei rikkoudu, eikä sitä jouduta paikkaamaan.

Tarvittavien kaasunlaskureikien määrä arvioidaan eristetilan koon ja tuulettuvuuden perusteella. Jos kyseessä on esimerkiksi ryömintätilallinen alapohja, on kaasua lasketta-va enemmän kuin esimerkiksi tilavuudeltaan rajalliseen ulkoseinärakenteeseen. Kaasu leviää avoimessa ilmatilassa nopeammin kuin kiinteiden rakennekerrosten välissä olevassa eristetilassa, joka on otettava huomioon kaasunlaskureikien tiheydessä ja annosteltavan kaasun määrässä (Lesonen 2010, s. 51).

Kaasunlaskureiät suositellaan tehtävän kohtiin, jotka ovat vakioetäisyydellä tutkittavasta liittymästä siten, että mihinkään kohtaan liittymässä ei muodostu muita kohtia korkeampaa tai matalampaa pitoisuutta kaasua reiän sijainnin vuoksi (Sobott 2014, s. 57). Käytännössä tämä voi olla kuitenkin vaikeaa. Kaasunlaskureikien poraaminen tulisi tehdä siten, että siitä ei aiheudu rakenteellista haittaa. Esimerkiksi porattaessa ulkoseinää ulkopuolelta reikä tulee porata yläviistoon, jotta reiän kautta ei pääsisi vettä rakenteeseen. Reikää porattaessa on varmistuttava siitä, että siitä lasketulla kaasulla on edellytykset kulkeutua tutkittavaan rakenneliittymään. Ulkoseinän eristetilassa voi kaasun olettaa leviävän hyvin noin 2 metrin säteelle kaasunlaskureiästä, mikäli eristetilaa on yhtenäinen (Lesonen 2010, s. 95).

Reikien poraamisen jälkeen niihin lasketaan merkkiaineakaasua kaasupulloon kiinnitetyn putken kautta. Liitos tiivistetään kaasutiiviillä massalla ilmatiiviiseen pintaan, esimerkiksi höyrynsulkuun (Laine 2014, s. 64). Laskettavan kaasun määrä arvioidaan samoin periaattein kuin porattavien reikien määrä. Kun kaasua on laskettu, tutkittava huonetila alipaineistetaan kaasun ohjaamiseksi mahdollisista vuotokohdista huonetilaan päin. Rakennuksissa, joissa on koneellinen ilmanvaihto, tämä voidaan tehdä esimerkiksi teippaamalla tuloilmaventtiilit umpeen tai, jos tällä ei saavuteta riittävän suurta alipainetta, käytetään erillistä alipaineistinta. Tässä tutkimuksessa käytetty alipaineistin on esitetty kuvassa 2b. Alipaineistin koostuu oveen kiinnitettävästä säädettävästä tukikehikosta ja sen ympärille asennettavasta tuulenpitävästä kankaasta sekä puhaltimesta, jonka pyörimisnopeus säädetään halutun alipaineen mukaiseksi.

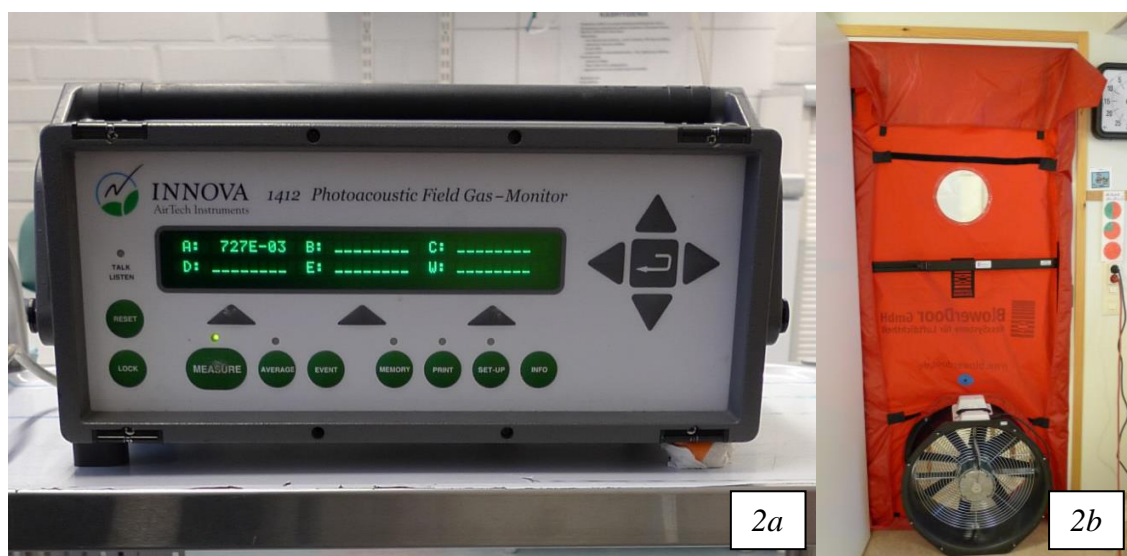
Merkkiainekokeessa pyritään saamaan tutkittava huonetila alipaineiseksi siihen eristetilaan nähden, mihin kaasua on laskettu. Paine-ero määritetään huonetilan ja merkkiaine-kaasua sisältävän tilan välisenä paine-erona esimerkiksi kaasunlaskureiän kautta. Paineeron suuruudella on suuri vaikutus havaittavaan merkkiaineakaasun pitoisuuteen. Lesonen (2010) on tutkinut, että kun ulkoilman ja huonetilan välisellä paine-erolla 2 Pa havaittu kaasun pitoisuus ulkoseinän ja ikkunan liittymän vuotokohdassa oli 3 ppm, se oli paine-erolla 7 Pa 52 ppm. Vastaavilla painesuhteilla pitoisuudet ulkoseinän ja lattian liittymän vuotokohdassa olivat 2 ppm ja 248 ppm. Suurempi vaihtelu lattian liittymän pitoisuuksissa on saattanut johtua vuotokohdan suuremmasta koosta. Tutkimus osoittaa, että paine-erolla on erittäin suuri vaikutus kaasun pitoisuuteen vuotokohdassa. Pitoisuuteen vaikuttaa myös muun muassa lasketun kaasun määrä. Pitoisuuteen vaikuttavat tekijät on keskeistä tuntea vuodon merkittävyyttä arvioitaessa. (Lesonen 2010, s. 86–88.)

Suositukset tutkimuksen aikaisesta alipaineesta vaihtelevat noin 2–5 Pa:sta (Lesonen 2010, s. 95) 10–15 Pa:iin (Sobott 2014, s. 58). Tarkin käsitys merkkiaineakaasua sisältä-

vän tilan ja huonetilan välisestä paine-erosta saadaan mittaamalla se näiden tilojen välille tehdystä reiästä. Paine-eroa mitattaessa on otettava huomioon, että tuulenpuuskat voivat vaikuttavaa suuresti paine-eroon. Käytettäessä kertamittaria eli hetkellistä paine-eroa mittaavaa käsikäyttöistä mittaria on mittarin näyttämää syytä tarkkailla 10–20 sekuntia, jotta saadaan käsitys paine-eron mahdollisesta vaihtelusta mittaushetkellä (Lesonen 2010, s. 28). Paras vaihtoehto on kiinnittää mittari paikoilleen merkkiainekokeen ajaksi, jotta paine-eron vaihtelua voidaan seurata. Tällöin varmistutaan siitä, että tutkittava tila pysyy eristetilassa nähden koko ajan alipaineisena, ja tuulenpuuskien vaikutus merkkiaineen kulkeutumiseen pystytään ottamaan huomioon (Sobott 2014, s. 58).

Kun huonetila on alipaineistettu, ikkunat ovat kiinni ja kaasun on levinnyt eristetilassa tutkittaviin rakenneliittymiin, voidaan kaasun pitoisuuksia alkaa tutkia. Kaasun leviäminen kestää tavanomaisessa mineraalivillatäytteisessä ulkoseinän eristetilassa noin 10–15 minuuttia (Laine 2014, s. 65).

Tässä tutkimuksessa rikkiheksafluoridin havaitsemiseen käytettiin verkkovirtaan kytkettävää Innova 1412 -analysaattorilaitteistoa (kuva 2a). Laitteistossa on ilmaletku, jonka kautta se pumppaa sisäänsä ilmanäytteen halutusta kohdasta ja analysoi sen. Laitteisto ilmoittaa ilmanäytteen sisältämän merkkiainekaasun, tässä tapauksessa rikkiheksafluoridin, pitoisuuden yksikössä ppm, eli kaasun pitoisuuden osina miljoonasta osasta. Pienen pitoisuus rikkiheksafluoridia, jonka laite kykenee havaitsemaan, on 0,006 ppm. Laitteen erotustarkkuus on 0,0001 ppm (Hintikka 2013, s. 30). Tavallisesti käytetyillä kaasumäärillä ja paine-erolla pitoisuudet merkkiainetutkimuksessa vaihtelevat tyypillisesti välillä 0–500 ppm, mutta saattavat olla korkeampiakin.



Kuvat 2a ja 2b. Kuvassa 2a on Innova 1412 -kaasuanalysaattori. Laitteen takana on liitäntä letkulle, jonka kautta laite pumppaa sisäänsä analysoitavan ilmanäytteen tutkittavasta kohdasta. Kuvan tilanteessa kaasun pitoisuus ilmanäytteessä on ollut 0,7 ppm. Kuvassa 2b on tutkimuksissa käytetty alipaineistimen kangas oviaukkoon kiinnitettynä sekä kankaaseen liitetty puhallin, jonka pyörimisnopeus säädetään halutun alipaineen mukaiseksi.

Kaasuanalysaattorilaitetta käytetään kuljettamalla siihen liitettyä näytteenottoletkua tutkittavissa rakenneliittymissä. Aika, joka laitteella kuluu ilmanäytteen pumppaamiseen ja analysoimiseen on käytetyllä näytteenottoletkun pituudella 25 sekuntia (Hintikka 2013, s. 30). Tänä aikana letkun päätä on pidettävä paikoillaan, jotta saataisiin tieto

tietyssä kohdassa olevasta kaasupitoisuudesta. Tämän jälkeen letku voidaan siirtää seuraavaan kohtaan. Käytännössä hyväksi havaittu välimatka tutkimuskohtien välillä on aluksi esimerkiksi 30 cm (Lesonen 2010, s. 95). Väliä voidaan muuttaa, jos halutaan esimerkiksi tarkempaa tietoa kaasun pitoisuuden vaihtelusta. Laitteen näyttämä kaasun pitoisuudesta on aina tietyssä kohdassa tietyllä hetkellä vallinnut kaasun pitoisuus, ja se saattaa vaihdella riippuen ilman liikkeistä huoneessa ja merkkiaineakaasua sisältävässä eristetilassa sekä tuulenpuuskista ulkona.

Havaitut merkkiaineakaasun pitoisuudet kirjataan ylös tavalla, josta käy selkeästi ilmi sekä mitattu pitoisuus että tarkka mittauskohta. Merkintä voi tapahtua esimerkiksi seinästä piirrettyyn kaaviokuvaan. Mittauspöytäkirjaan kirjataan ylös tutkimuksen päivämäärä, tutkimuksen suorittaja, kohteen osoite, tilan numero, käytetty merkkiaineakaasu, kaasunlaskukohdat, lasketun kaasun määrä sekä vallinnut paine-ero. Tiedot voi esittää samassa kaaviokuvassa kuin missä mittaushavainnot on esitetty. Merkkiainekokeesta laaditaan kirjallinen raportti, jossa esitetään havainnoista tehdyt johtopäätökset.

Kuten edellä on esitetty, merkkiainekokeen suoritukseen liittyy vaiheita, joissa on käytettävä kokemukseen perustuvaa tietoa ja harkintaa. Käytetyn merkkiaineakaasun määrän, kaasun syöttökohtien ja paine-eron huomioiminen on tärkeää arvioitaessa vuodon merkittävyyttä. Menetelmä ja tulosten tulkinta on siten altis virheille ja tulkinnan eroille. Tulosten tulkinnassa on suuri merkitys tutkijan ammattitaidolla (Laine 2014, s. 66).

Epävarmuutta merkkiainekokeiden tuloksiin aiheuttavat myös muut kuin tutkimuksen suorittajasta riippuvat seikat. Tutkittavan rakenteen rakennustapa voi poiketa piirustuksista, jolloin kaasu ei välttämättä kulje sitä reittiä kuin oletetaan. Tällöin sen leviämisenopeus tutkittavaan rakenteeseen, ja siten pitoisuus, ei vastaa arvioitua. Voimakas tuuli voi nopeuttaa kaasun kulkeutumista pois eristetilasta, ja aiheuttaa siten poikkeamia kaasun pitoisuuteen ja leviämisenopeuteen. Merkkiaineakaasua voi kulkeutua tutkittavaan tilaan myös ympäröivistä tiloista, mikäli ne ovat ylipaineisia tutkittavaan tilaan nähden (Aalto ym. 2008, s. 229).

Tuuli voi merkittävästi muuttaa merkkiainetutkimuksen aikaista paine-eroa. Voimakkaan puuskan aikana voi tuulen nopeus kaksinkertaistua. Koska tuulen painevaikutus on suoraan verrannollinen tuulen nopeuden neliöön, voivat tuulenpuuskat aiheuttaa painevaikutuksen nelinkertaistumisen (YM 1997, s. 58). Voimistunut alipaine tehostaa merkkiaineakaasun kulkeutumista eristetilasta huoneilmaan, jolloin epätiiviyskohta voi vaikuttaa merkittävämmältä kuin se todellisuudessa on. Alipaineen heikentyminen tai sen muuttuminen ylipaineeksi puolestaan voi johtaa siihen, että epätiiviyskohdat jäävät havaitsematta, kun ilmavirtauksen suunta onkin huonetilasta eristetilaa päin. Puuskainen tuuli aiheuttaa siten merkkiainekokeen kannalta ongelmalliset olosuhteet. Merkkiainekokeita ei suositella tehtäväksi tuulen nopeuden ylittäessä 2–5 m/s (Lesonen 2010, s. 94) tai 6 m/s (Sobott 2014, s. 58).

Myös huoneen sisällä esiintyvät, esimerkiksi lämmityspatterin aiheuttamat, ilmavirtaukset voivat vääristää tuloksia. Ilmavirtaus huoneen sisällä saattaa viedä tutkittavasta kohdasta sen läpi päästämää merkkiaineakaasua pois. Merkkiaineakaasu saattaa ilmavirtauksen vuoksi kulkeutua myös vuotavasta kohdasta viereiseen tiiviiseen kohtaan, jolloin tiivis kohta vaikuttaa epätiiviltä. Virheiden välttämiseksi tutkittavaa kohtaa on tarkasteltava myös aistinvaraisesti pyrkien selvittämään, missä epätiiviyskohta todennäköisesti sijaitsee. Mikäli ilmansulku on näkyvissä ja kohta on silminnähden tiivis, kaasupitoisuus on syytä mitata uudestaan, jotta voidaan poissulkea huoneen sisäpuolisten ilmavir-

tausten tai esimerkiksi ulkoilman tuulenpuuskien vaikutus kaasupitoisuuteen. Ilmavirtausten ja muiden epävarmuustekijöiden vuoksi pelkän merkkiainekokeen tarjoama tieto epätiiveyuskohdan sijainnista on rajallinen. Tarkka sijainti saadaan yleensä selvitettyä silmämääräisellä tarkastelulla.

Tutkittaessa yläpohja- tai alapohjatilajoja niiden tilavuutta voi olla vaikea arvioida. Ryömintätilallisissa alapohjissa ryömintätilan todellinen koko voi poiketa piirustuksista. Maanvaraisissa alapohjissa puolestaan täyttömaan tiiviys ja raekoko vaikuttavat kaasun leviämiseen, ja ne tulee huomioida pidentämällä tai lyhentämällä aikaa, jona kaasun oletetaan leviävän tutkittaviin rakenneliittymiin.

Kaasun siirtymistä erilaisissa rakenteissa on vaikea hallita ja arvioida. Lesonen (2010) selvitti, että kaasulla kesti 6–8 minuuttia kulkeutua yhden metrin matka kaasunlaskureiästä vuotokohtaan alapohjalaatan alapuolisessa täyttömaassa. Paine-ero sisä- ja ulkoilman välillä oli 7–8 Pa (Lesonen 2010, s. 59 ja 84). Täyttömaan tyyppiä tai rakeisuutta ei määritelty. Opetushallituksen oppaan (Aalto ym. 2008, s. 230) mukaan merkkiainekaasun kulkeutuminen rakenteesta sisätilaan voi kestää tunteja, mikäli sisäkuoren takana oleva materiaali on esimerkiksi hienojakoista maa-ainesta tai solumuovieristettä. Kuitenkaan aikamääreitä sille, kuinka paljon kaasun leviämiseen tarvittavaa aikaa tulisi lyhentää tai pidentää missäkin tilanteessa, ei ole. Epävarmoissa tilanteissa tulisi kaasun kulkeutuminen tutkittavaan kohtaan todentaa poraamalla tarkoitusta varten erillinen tarkastusreikä (Laine 2014, s. 65). Tältäkin osin merkkiainetutkimuksen suoritus ja tulosten käsittely perustuu tutkijan kokemukseen. Yleisesti ottaen on kaasun pysymistä rakenteiden sisällä, kaasun kulkeutumisnopeutta, muiden vuotokohtien vaikutusta mitaustuloksiin sekä tuulella tapahtuvia muutoksia arvioitava jatkuvasti mittausten aikana, jotta tuloksista olisi mahdollista tehdä johtopäätöksiä (Lesonen 2010, s. 38).

Koska merkkiainekaasun pitoisuuteen vaikuttavat tekijät on vaikea vakioida, tulee havaittuihin kaasunpitoisuuksiin suhtautua vain suuntaa-antavina. Enemmän merkitystä on samassa tilassa havaittujen pitoisuuksien eroilla kuin yksittäisen pitoisuuden absoluutisella arvolla. Merkkiainekokeen perusteella ei tule yrittää määrittää vuotokohtien suuruksien keskinäistä järjestystä, vaan vain sitä, esiintyykö jossakin kohdassa vuotoa vai ei. Tulkinta vuodon olemassaolosta jää merkkiainekokeen suorittajalle. (Laine 2014, s. 66.)

4.1.3 Merkkiainetutkimusten ja rakenneavausten suoritus

Kukin merkkiainetutkimus aloitettiin tutkimalla aistinvaraisesti sekä huonetilan että rakennuksen ulkopuolelta, mitkä rakenteet oli tiivistetty. Paikalla tehdyn tarkastelun sekä piirustusten perusteella määritettiin, minne merkkiainekaasu on laskettava, jotta sillä on edellytykset kulkeutua rakenteiden sisällä olevien eristetilojen kautta tutkittaviin rakenneliittymiin ja niistä huoneilmaan.

Kaasunlaskukohtien määrä ja niiden välimatkat arvioitiin edellä esitettyjen periaatteiden mukaan ottaen huomioon tutkittavan liittymän pituus, eristetilan tilavuus sekä kaasun leviämiseen vaikuttavat tekijät. Tutkittaessa esimerkiksi pitkän ulkoseinän ja alapohjan liittymää kaasua laskettiin useasta kohdasta koko seinän matkalle, jolloin sen saattoi olettaa leviävän kohtuullisessa ajassa kaikkiin tutkittaviin kohtiin.

Kaasunlaskukohtien määrittämisen jälkeen rakenteisiin porattiin eristetilaan ulottuvat reiät. Reiät tiivistettiin väliaikaisesti sinitarralla. Reiät porattiin ulkoa kaikissa sellaisissa tiloissa, mitkä eivät olleet niin korkealla, että poraaminen ulkoa olisi vaatinut tikkaat tai

telineet, tai missä ulkoseinän pintamateriaali ei tätä estänyt. Tällaisia tiloja oli neljä, ja niihin reiät porattiin sisäpuolelta. Reikien poraustavat ja muut koejärjestelyt on eritelty jäljempänä tulosten yhteydessä luvussa 5.1 sekä liitteissä 3–9.

Reikien teon jälkeen niistä laskettiin kaasua eristetilaan. Kaasua laskettiin tutkittavan rakenteen koosta ja reikien määrästä riippuen kuhunkin reikään noin 0,5–2 barin ylipaineella 30–60 s ajan. Kaasun laskemisen jälkeen tutkittava huonetila alipaineistettiin oveen kiinnitettävällä puhaltimella. Puhaltimen tehokkuus säädettiin siten, että tutkittava huonetila oli keskimäärin 10–15 Pa alipaineinen ulkoilmaan nähden. Käytetyt paine-erot kuitenkin vaihtelivat 2 Pa:sta 20 Pa:iin. Paine-ero mitattiin kaikissa tiloissa sisä- ja ulkoilman välisenä paine-erona ikkunan kautta. Mittaamalla paine-ero näin ei saada tarkkaa tietoa siitä, mikä oli paine-ero huonetilan ja merkkiainekaasua sisältävän tilan välillä, joten tästä aiheutui tulosten tulkinnalle epävarmuustekijä. Kussakin tutkimuksessa vallinnut alipaine on esitetty merkkiainekokeen koejärjestelyjen yhteydessä liitteissä 3–9. Alipaineistusjärjestely pidettiin vakiona kunkin tutkimuksen ajan. Paine-ero mitattiin TSI Airflow PVM620 -mittarilla tai sitä vastaavalla mittarilla. Kaasun leviämistä odotettiin alipaineen muodostamisen jälkeen vähintään noin 10 ja enintään noin 30 minuuttia.

Merkkiainekaasupitoisuuden määrittämiseen käytettiin kuvassa 2a esitettyä Innova 1412 -laitetta. Pitoisuus tietyssä kohdassa määritettiin viemällä näytteenottoletkun pää kyseiseen kohtaan ja pitämällä sitä paikoillaan noin 30 sekuntia, kunnes laite ilmoitti ilmanäytteen merkkiainekaasupitoisuuden. Pitoisuudet kirjattiin ylös tutkittavasta rakenteesta piirrettyyn kaaviokuvaan. Tapauksissa, joissa merkkiainekaasun pitoisuus vaihteli samassa kohdassa eri mittausten välillä, mittauksia toistettiin niin kauan, että pitoisuuden oikeasta suuruudesta saatiin käsitys. Merkkiainekokeiden koejärjestelyt ja tulokset on esitetty tiloittain liitteissä 3–9. Koonti merkkiainekokeiden ja rakenneavausten tuloksista on esitetty luvun 5.1 yhteydessä taulukossa 7.

Kussakin tilassa tehtiin merkkiainetutkimuksen jälkeen rakenneavaukset. Avattavat kohdat määritettiin merkkiainetutkimuksen tulosten perusteella siten, että kussakin tilassa saatiin näkyville tiivistystapa 1–3 tiiviissä ja 1–3 vuotavassa kohdassa. Mikäli tilassa oli vain vuotavia tai vain tiiviitä kohtia, avaukset tehtiin niihin. Avauskohdaksi valittiin yleensä kohdat, joissa vuotohavainnot olivat selvimpiä, eli merkkiainekaasun pitoisuus oli ollut kaikkein suurin tai kaikkein pienin. Mikäli vuoto oli ollut useassa kohdassa samansuuruinen, avaus tehtiin kohtaan, jossa se aiheutti mahdollisimman vähän visuaalista haittaa tai oli teknisesti vaivattomin tehdä ja paikata.

Pintarakenteet, esimerkiksi peitelistat tai lattiamatto, poistettiin pyrkien olemaan vahingoittamatta alla sijaitsevaa tiivistystä, jotta sen kunnosta oltaisiin saatu mahdollisimman hyvä käsitys. Tiivistyksen säilyttäminen ehjänä ei kuitenkaan aina onnistunut, koska pintarakenteet oli liimattu kiinni tiivistykseen, jolloin kerroksittainen purkaminen ei ollut mahdollista. Pintarakenteita purettiin sen verran, että tiivistys saatiin näkyviin, ja sen kunnosta pystyttiin tekemään päätelmät. Pintarakenteiden purun aikana ja sen jälkeen tehtiin havainnot tiivistyksen sijainnista ja siitä, oliko se asennettu oikeaan paikkaan ja riittävän suurelle alueelle. Lisäksi tehtiin havainnot tiivistyksen ehjyydestä, sen tartunnasta alustaan, alustan käsittelystä ja tiivistyksessä käytetyistä materiaaleista.

Tiivistystä irrotettiin tutkittavalta alueelta, jotta saatiin käsitys sen tartunnasta ja alustan laadusta. Löydökset dokumentoitiin kirjallisesti ja valokuvin. Tulokset on esitetty luvussa 5.1. Valokuvia tutkituista tiivistyksistä on esitetty liitteissä 3–9. Rakenneavausten

tarkastelun jälkeen ne paikattiin asentamalla uudet tiivistykset ja vanhat pintamateriaalit takaisin paikoilleen.

4.2 Tartuntavetolujuusmittaukset

4.2.1 Tartuntavetolujuusmittausten aineisto

Aineistoksi valittiin joukko ilmavuototiivistyksissä käytettävien pinnoitteiden ja korjauskohteille tyypillisten pinnoitettavien alustamateriaalien yhdistelmiä. Tavoitteena oli selvittää tiivistysmateriaalien tartunta alustaan silloin, kun pohjatyöt ja materiaalien asennus on tehty täysin valmistajien ohjeiden mukaan. Lisäksi tavoitteena oli selvittää, miten pinnoitusten tekeminen ohjeiden vastaisesti voi vaikuttaa tartuntaan.

Alustamateriaaleiksi valittiin betoni, sementtipohjainen lattiatasoite, käyttövalmis seinätasoite, puu, maalattu puu, ruostumaton teräs ja muovinen lattiamatto. Pinnoitemateriaaleiksi valittiin Ardex Oy:n ja Betton Oy:n maahantuomia tiivistystuotteita sekä Oy TKR-Coatings Ltd:n tiivistystuotteita. Erilaisia yhdistelmiä pinnoitteista ja alustamateriaaleista muodostettiin kaikkiaan 30. Pinnoituksissa käytetyt alustamateriaalit on kuvattu taulukossa 2.

Testattavat pinnoitteet on kuvattu taulukossa 3. Alustamateriaalien ja pinnoitteiden yhdistelmät on kuvattu taulukoissa 4, 5 ja 6. Yhdistelmistä koestettiin tartuntavetolujuus irtivetolaitteella muiden paitsi muovimatolle ja höyrynsulkumuoville kiinnitettyjen tiivistysmateriaalien osalta. Näiden koestaminen olisi höyrynsulkumuovin ja muovimaton huonon liimautuvuuden vuoksi vaatinut kahdensuuntaisen vetokokeen järjestämisen, ja pinnoitteiden tartuntaa tutkittiin sen sijaan käsin.

Taulukko 2. Pinnoituksissa käytetyt alustamateriaalit.

| Valmistaja tai maahantuojaja | Tuote |
|------------------------------|--|
| HB Betoniteollisuus Oy | HB-Betonilaatta, täyttää standardin SFS-EN 1339 mukaiset lujuus-, suoruu- ja tasalaatuisuusvaatimukset. Suurin sallittu kuperaus 2,0 mm ja koveruus 1,0 mm. Paksuus 50 mm, leveys 400 mm. |
| Tikkurila Presto LF | Vesiohenteinen käyttövalmis remonttitasoite. |
| Ardex K 14 | Sementtipohjainen itsetasoittuva lattiatasoite. |
| Pisla Oy | HTT 828 -uunineduspelti, ruostumaton teräs. |
| E.T. Listat Oy | Höylätty SH-lista, vähäoksainen mänty. Paksuus 15 mm, leveys 120 mm. |
| E.T. Listat Oy | Höylätty ja maalattu peitelista, vähäoksainen mänty. Paksuus 12 mm, leveys 92 mm. |
| Upofloor Estrad | Polyuretaanipintakäsitelty vahaamaton muovimatto. |
| Kalliomuovi Oy | HS E200 -höyrynsulkumuovi. |

Taulukko 3. Testatut pinnoitustuotteet.

| Valmistaja tai maahantuojaja | Tuote | Tuotteen kuvaus |
|---------------------------------|--------------------------|--|
| Ardex Oy | 8+9 | Sementtipohjainen kaksikomponenttinen siveltävä vedeneristysmassa, joka koostuu Ardex 8 -akryylidispersiosta ja Ardex 9 -sementtipohjaisesta jauheesta. M1-luokiteltu. |
| Ardex Oy | SK 12 Tricom | Laminoidusta polypropyleenikankaasta ja polyuretaanirungosta koostuva vesitiivis vahvikenauha käytettäväksi yhdessä vedeneristysmassan kanssa. M1-luokiteltu. |
| Ardex Oy | STB 15-75 | Kuituvahvistettu itseliimautuva kaasutiivis butyylitarranauha käytettäväksi yksinään tai yhdessä vedeneristysmassan kanssa. M1-luokiteltu. |
| Ardex Oy | P 51 | Vesiohenteinen tartuntaa parantava ja huokosia tukkiva siveltävä muoviseos-pohjustusaine. M1-luokiteltu. |
| Betton Oy | Blowerproof Liquid Brush | Yksikomponenttinen polymeeripohjainen kuituvahvisteinen elastinen siveltävä tiivistysmassa. M1-luokiteltu. |
| Betton Oy | Uzin PE 460 New | Kaksikomponenttinen epoksihartsi-pohjustin alustasta nousevaa kosteutta vastaan. M1-luokiteltu. |
| Betton Oy | Codex BST 75 | Nailonvahvistettu itseliimautuva kaasutiivis butyylitarranauha. |
| Oy TKR-Coatings Ltd | Peruspinnoite | Kaksikomponenttinen epoksityyppinen pinnoite. M1-luokiteltu. |
| Oy TKR-Coatings Ltd | Hyytelö | Kaksikomponenttinen epoksityyppinen pinnoite. M1-luokiteltu. |

*Taulukko 4. Tutkitut materiaaliyhdistelmät (Ardex Oy:n tiivistystuotteet). Höyrynsulku-
muoville ja muovimatolle asennetun butyyliteipin tartuntaa tarkasteltiin käsin irtiveto-
laitteella tehtävän tartuntavetolujuuskokeen sijaan.*

| | Mer- kintä | P 51 | 8+9 vahvis- tusnauhan tai butyyliteipin alla | SK 12 | STB 15-75 | 8+9 vahvistus- nauhan tai bu- tyyliteipin pääl- lä |
|-----------------------|---------------|------|---|-------|-----------|---|
| Betoni | B1A | | x | x | | x |
| | B2A | x | x | x | | x |
| Tasoite K14 | L1A | | x | x | | x |
| | L2A | x | x | | x | x |
| | L3A | x | | | x | |
| Tasoite Presto LF | S1A | x | x | x | | x |
| Höylätty puu | P1A | | x | x | | x |
| | P2A | x | x | x | | x |
| | P3A | x | | | x | |
| | P4A | | | | x | |
| Maalattu puu | M1A | | x | x | | x |
| | M2A | | | | x | |
| Ruostumaton teräs | R1A | | | | x | |
| Muovimatto | U1A | | | | x | |
| Höyrynsulku- muovi | H1A | | | | x | |

*Taulukko 5. Tutkitut materiaaliyhdistelmät (Betton Oy:n tiivistystuotteet). Höyrynsul-
kumuoville asennettujen pinnoitteiden tartuntaa tarkasteltiin käsin irtivetolaitteella teh-
tävän tartuntavetolujuuskokeen sijaan.*

| | Mer- kintä | Uzin PE 460 New | Codex BST 75 | Blowerproof Liquid Brush |
|-----------------------|---------------|-----------------|--------------|-----------------------------|
| Betoni | B1B | | x | |
| | B2B | | | x |
| Tasoite K 14 | L1B | x | | |
| | L2B | | x | |
| | L3B | | | x |
| Höylätty puu | P1B | x | | |
| | P2B | | x | |
| | P3B | | | x |
| Maalattu puu | M1B | | x | |
| | M2B | | | x |
| Höyrynsulku- muovi | H1B | | x | |
| | H2B | | | x |

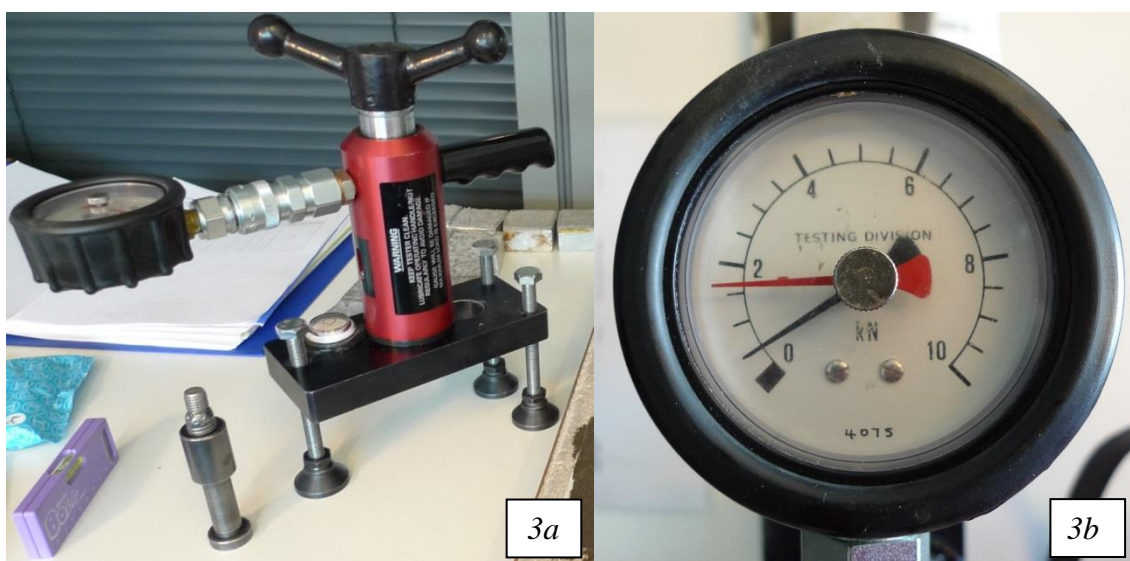
Taulukko 6. Tutkitut materiaaliyhdistelmät (Oy TKR-Coatings Ltd:n tiivistystuotteet).

| | Mer- kintä | TKR Peruspinnoite | TKR Hyytelö 1. krs | TKR Hyytelö 2. krs |
|--------------|---------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| Betoni | B1C | x | x | x |
| Höylätty puu | P1C | x | x | x |
| Maalattu puu | M1C | x | x | x |

4.2.2 Tartuntavetolujuuden mittaamiseen käytetty menetelmä

Tiivistysmateriaalit asennettiin koekappaleille ennen tartuntavetolujuuskokeiden suoritusta. Koekappaleiden valmistus on kuvattu luvussa 4.2.3. Alustamateriaalien ja pinnoitustuotteiden välistä tartuntaa tutkittiin suorittamalla tartuntavetolujuusmittauksia Hydrarajaws Limitedin irtivetolaitteella (kuvat 3a ja 3b) ja siihen liitettävillä pinnoituksiin liimatuilla vetonastoilla (kuvat 4a, 4b ja 4c). Laitte oli kalibroitu maaliskuussa 2015.

Laitteen käsikäyttöisillä vivuilla ylöspäin liikutettava mäntä nostaa pinnoitukseen liimattua vetonastaa suoraan ylöspäin, kunnes pinnoituksessa tai alustamateriaalissa tapahtuu murto, jonka laitteen mekaniikka tunnistaa. Murron tapahduttua mittarissa murtovoiman kohdalle nousseista osoittimista toinen palautuu nolnaan, ja toinen jää osoittamaan murtovoimaa.

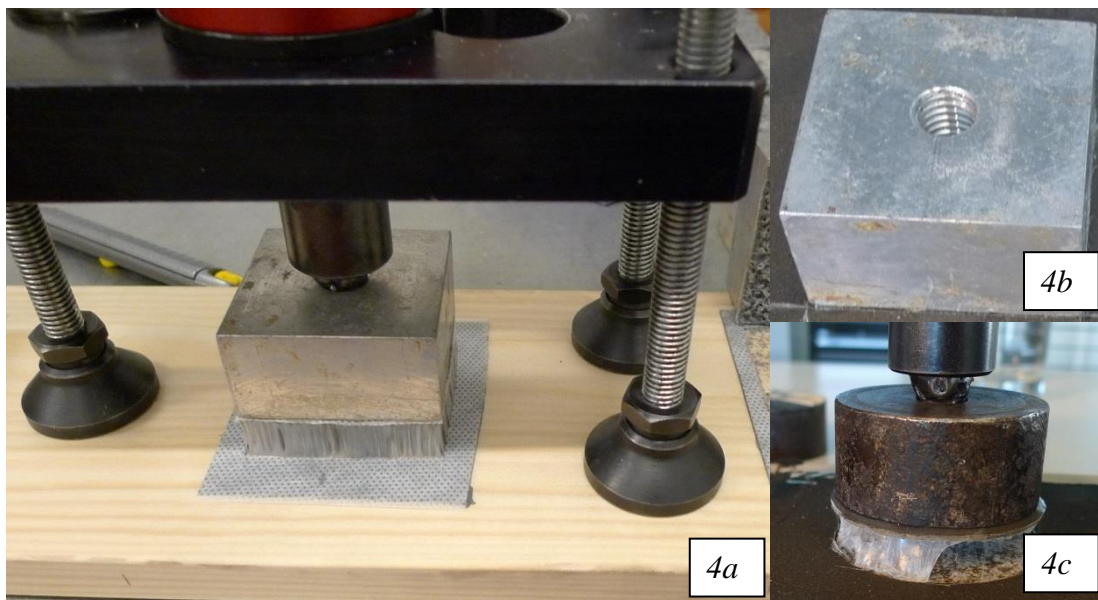


Kuvat 3a ja 3b. Kuvassa 3a on Hydrarajaws Limitedin valmistama irtivetolaitte. Laitteessa ylinnä on vääntövivut, joita käsin vääntämällä laitteen rungon sisällä oleva mäntä liikkuu ylös ja alas. Etualalla on teräsruuvi, jonka toinen pää kierretään vetonastaan (kuva 4a) ja toinen pää kiinnitetään mäntään. Laitte säädetään vaakasuoraan vesivaa'an ja kolmen säätöruuvien avulla. Kuvassa 3b on laitteeseen kiinnitetty kaasun paineeseen perustuva voimamittari, josta vetovoima luetaan. Mitta-alue ulottuu 0 kN:sta 10 kN:iin. Asteikossa on merkit 0,5 kN välein.

Pinnoituksiin liimattavia vetonastoja oli kahdenlaisia (kuvat 4a, 4b ja 4c). Suoran ympyrälieriön muotoiset, halkaisijaltaan 50 mm ja korkeudeltaan 25 mm kokoiset nastat oli valmistettu ruostumattomasta teräksestä. Neliön muotoiset nastat, joiden sivu oli 50 mm ja korkeus 25 mm, oli valmistettu alumiinista. Kussakin nastassa oli yläpinnan keskellä kierteet, joihin ruuvattiin kuvassa 3a etualalla näkyvä teräsruuvi vetokoetta varten. Nas-

tojen pinnoituksiin liimattava pinta oli yhtenäinen. Käytössä oli 18 pyöreää ja 20 neliömäistä nastaa.

Nastojen pinnoituksiin kiinnitettävissä pinnoissa oli jonkin verran kolhuja ja epätasaisuuksia. Nastat olivat lisäksi pyöristyneet hiottaessa siten, että niiden liimattavat pinnat eivät olleet täysin suoria, minkä vuoksi pintojen reunat jäivät joissakin kappaleissa liimautumatta kiinni pinnoituksiin.



Kuvat 4a, 4b ja 4c. Kuvassa 4a on vetonasta kiinnitettynä testattavaan pinnoitteeseen ja irtivetolaitteeseen. Veto on meneillään. Kuvassa 4b on alumiininen neliön muotoinen vetonasta kierteineen. Kuvassa 4c on pyöreä teräksinen vetonasta.

Erilaisia tartuntavetolujuuden mittausmenetelmiä on kuvattu standardeissa. SFS-EN ISO 4624 määrittelee maalien ja lakkojen tartuntalujuuden testaamismenetelmän. SFS-EN 1348 määrittelee keraamisten laattojen sementtipohjaisten pinnoitteiden tartuntalujuuden testausmenetelmän. SFS-EN 1542 määrittelee betonipintojen suojaamiseen ja korjaamiseen tarkoitettujen laastien ja muiden pinnoitteiden ja betonin välisen tartuntalujuuden testausmenetelmän.

Standardien esittämät menettelytavat poikkeavat toisistaan mm. pinnoitteen sekoitus- ja levitystavan, vähimmäissekoitusmäärän, pinnoitettavan pinnan kallistuskulman, pinnoituksen kuivumisajan, vetonastojen pinta-alan, paksuuden, liimaustavan ja sijoittelun, ympäristön lämpötilan, vetoisuuden ja suhteellisen kosteuden, alustan laadun, vedon suoritusnopeuden ja nopeuden tasaisuuden, vetolaitteen tyyppin, toistojen lukumäärän, tulosten esittämisen sekä virhetulosten käsittelemisen osalta. Testauksen periaate on kuitenkin kaikissa standardeissa sama. Sen mukaan testattavat pinnoitteet levitetään saman paksuisina tasaisille pinnoille, joiden pintarakenne on yhtenäinen. Kun pinnoite tai pinnoiteyhdistelmä on kovettunut, vetokappale liimataan pinnoitteeseen. Liiman kovettuttua vetokappale sijoitetaan sopivaan mittauslaitteeseen, ja kappale koestetaan. Voima, joka tarvitaan murtamaan pinnoitteen ja alustan välinen tai pinnoitteiden välinen sidos, mitataan. Vetomurtolujuus lasketaan jakamalla tämä voima pinta-alalla, johon voima kohdistui.

Tutkimuksessa sovellettiin edellä kuvattua periaatetta kaikkiin kappaleisiin. Koska tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää ennemmin eri materiaalien eroja ja tartuntavetolujuuksien suuruusluokkaa kuin tartuntavetolujuuksien absoluuttisia arvoja, tutkimuksessa noudatettiin edellä esitettyä yleistä periaatetta, ja käytännön järjestelyt suunniteltiin palvelemaan nimenomaan tämän tutkimuksen tarkoitusta.

Vetoalueet sellaisissa pinnoitteissa, jotka pystyttiin leikkaamaan katkoteräveitsellä vetonastan reunaa myöden alustamateriaalin pinnan läpi erilliseksi alueeksi ja joista oletettiin, että niiden vetolujuus on paljon pienempi kuin alustamateriaalin murtolujuus, leikattiin katkoteräveitsellä. Kolmen koekappaleen kohdalla pinnoitteiden vetoalueet leikattiin timanttireikäporalla tehden ura alustamateriaaliin, sillä niitä ei saatu leikattua veitsellä tai niiden vetolujuuden epäiltiin olevan alustan murtolujuutta suurempi.

Vetoalueen leikkaaminen erilliseksi alueeksi alustamateriaalin pinnan läpi sallii veto-voiman kohdistumisen samansuuruisena ja -suuntaisena sekä pinnoitekerrokseen että alustamateriaaliin, jolloin murto tapahtuu puhtaasti sen mukaan, missä kerroksessa murtolujuus saavutetaan ensin. Mikäli uraa ei tehdä, ei saada tietoa siitä, olisiko alusta voinut murtua ennen pinnoituksia. Mikäli alusta rikkoutuu ennen pinnoitteita, pinnoitteen tartuntavetolujuudesta ei saada muuta tulosta kuin se, että se on alustan murtolujuutta suurempi.

Standardeissa vedettyä pinta-alaa on kuvattu eri tavoin. SFS-EN 1348 määrittelee vetolujuutta laskettaessa käytettäväksi pinta-alaksi liitoksen pinta-alan, SFS-EN ISO 4624 vetonastan pinta-alan ja SFS-EN 1542 näytepalan pinta-alan. Tässä tutkimuksessa pinta-alana käytettiin vetonastan pinta-alaa kaikissa muissa kappaleissa paitsi niissä, joihin tehtiin ura reikäporalla. Reikäporan stabiloimiseen tarvittavan keskituen vuoksi kunkin näytekohdan keskelle porattiin reikä, jonka pinta-ala vähennettiin vetonastan pinta-alasta (kuva 5). Lisäksi koska reikäporalla tehdyn uran sisäpuolinen alue eli testattavan pinnoitteen ala jäi hieman vetonastaa pienemmäksi, jouduttiin pinta-alasta vähentämään pieni osa vetonastan reuna-alaa. Vähennysten jälkeen vedetyksi pinta-alaksi saatiin liimalla vetonastaan kiinnittynyt eli todellinen vedetty pinta-ala.

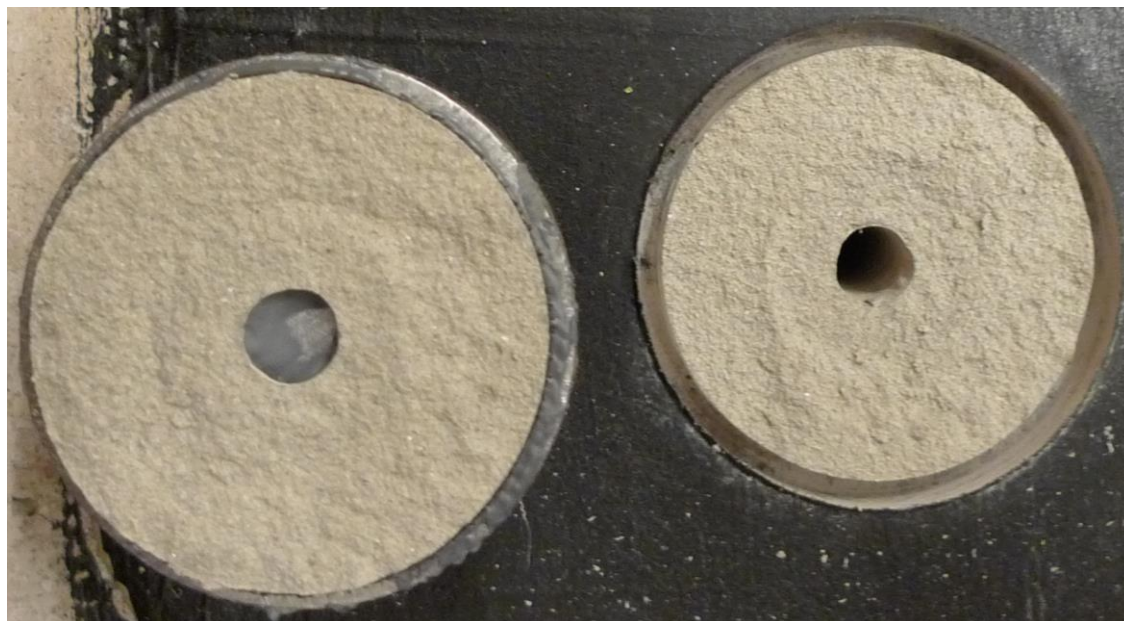
Edellä mainittuja standardeja soveltaen tartuntavetolujuus laskettiin käyttäen yhtälöä (2).

$$\sigma = F/A \quad (2)$$

missä σ on tartuntavetolujuus [MPa]
 F on mittarin näyttämä vetovoimalle korjattuna kalibroinnin mukaisella arvolla [N]
 A on vedetty pinta-ala edellä kuvatulla tavalla laskettuna [mm²]

Standardien SFS-EN 1542 ja SFS-EN ISO 4624 mukaan murtumatyyppiä ilmoitettaessa käytetään alustamateriaalista kirjaintunnusta A, ensimmäisestä eli alustaa lähinnä olevasta pinnoitekerroksesta B, toisesta pinnoitekerroksesta C ja niin edelleen. Standardi SFS-EN 1348 ei määrittele murtumatyyppien ilmoittamista. Mikäli pinnoite irtaantuu, on kyse heikoimman rajapinnan tartunta- eli adheesiomurtumasta. Adheesiomurtuma merkitään ilmoittamalla, minkä kerrosten välillä murtuma tapahtui, esim. A/B, jos kyse on alustan ja ensimmäisen pinnoitekerroksen välisen tartuntavetolujuuden ylittymisestä. Mikäli alusta tai jokin pinnoitekerroksista murtuu, on kyse materiaalin sisäisestä eli koheesiomurtumasta, joka merkitään ilmoittamalla murtuneen kerroksen kirjain, esim. A.

Murtuma on usein koheesio- ja adheesiomurtumien yhdistelmä. Tällöin niiden suhteelliset osuudet arvioidaan ja ilmoitetaan prosentteina, esim. 30 % B ja 70 % B/C. Koe, jossa vetonastan liimaus pinnoitteeseen irtoaa, hylätään.



Kuva 5. Kappale L3B. Vasemmalla vetonappi ja oikealla kohta, josta se on vedetty irti. Vetonappi on ollut suurempi kuin vedettävä alue. Vetonapin keskellä on lisäksi vedetystä pinta-alasta pois laskettava porauksesta aiheutunut reikä.

Standardi SFS-EN 1348 ohjeistaa tekemään kymmenen, SFS-EN ISO 4624 kuusi ja SFS-EN 1542 viisi, mutta vähintään kolme tartuntavetolujuustestiä samasta alustamateriaali-pinnoiteyhdistelmästä luotettavan tuloksen saamiseksi. Tässä tutkimuksessa toistojen määräksi valittiin neljä.

Standardin SFS-EN 1542 mukaan pinnoite tulee levittää pystysuoralle pinnalle, ellei testattava tuote ole tarkoitettu käytettäväksi vain vaakasuorilla pinnoilla. SFS-EN ISO 4624 ja SFS-EN 1348 eivät sisällä erillistä mainintaa pinnoitettavan pinnan kallistuksesta. Tässä tutkimuksessa pinnoitukset tehtiin vaakasuorille pinnoille.

SFS-EN ISO 4624:n mukaan vetojännitystä tulee vetokokeessa lisätä tasaisella nopeudella, ei kuitenkaan suuremmalla kuin 1 MPa/s niin, että murtuminen tapahtuu 90 s kuluessa. Tämä tarkoittaa 2500 mm² vetonastoilla maksiminopeutta 2,5 kN/s ja 1963 mm² vetonastoilla maksiminopeutta 2,0 kN/s. Kaikki vedot pyrittiin tekemään samalla, noin 0,25 kN/s nopeudella sillä tarkkuudella kuin käsikäyttöisessä laitteessa oli mahdollista.

4.2.3 Koekappaleiden valmistus

Kappaleiden valmistaminen aloitettiin alustamateriaalien valmistelulla. Kaikkia koekappaleiden alustamateriaaleja säilytettiin niiden hankkimisen jälkeen sisätiloissa kolme viikkoa suhteellisen kosteuden ollessa noin 35 % ja lämpötilan noin 16 °C. Betonilaattojen pinnasta hiottiin tämän jälkeen sementtiliima timanttikuppilaikalla sähkökäyttöisellä betonihiomakoneella. Koska eräät testatuista pinnoitteista edellyttivät betonin suhteellisen kosteuden olevan alle 90 %, betonilaattojen suhteelliset kosteudet mitattiin.

Mittaus tehtiin ohjekortin RT 14-10984 Betonin suhteellisen kosteuden mittaus, mukaisella porareikämenetelmällä. Oikea arviointisyvyys määritettiin ohjekortin sivulla 14

olevan ohjeen mukaisesti kahteen suuntaan kuivuvalle pinnoitettavalle rakenteelle käyttäen yhtälöä (3).

$$y = 0,2 \cdot d \quad (3)$$

missä y on porareian syvyys eli arviointisyvyys [mm]
 d on laatan paksuus [mm]

Täten saatiin arviointisyvydeksi

$$y = 0,2 \cdot 50 \text{ mm} = 10 \text{ mm}.$$

Porareiat tehtiin ja tulpattiin sinitarralla. Kosteutta mittaavat mitta-anturit asetettiin porareikien pohjalle ja tulpattiin sinitarralla kolme viikkoa myöhemmin. Suhteellisten ja absoluuttisten kosteuksien ja lämpötilojen arvot luettiin lukulaitteella kunkin porareian mitta-anturista kahden tunnin kuluttua niiden asennuksesta. Mittauksiin käytettiin Vaisala HMP44 ja HMI44 -mitta-antureita sekä Vaisala HMI41 -lukulaitetta. Mitta-anturit oli kalibroitu elokuussa 2014. Porareikämittausten tulokset on esitetty liitteen 2 taulukossa 1. Suhteelliset kosteudet arviointisyvyydellä vaihtelivat välillä 45,3–66,1 %. Koska kaikki pitoisuudet olivat huomattavasti alle 90 %, kappaleita pidettiin riittävän kuivina pinnoituksia varten.

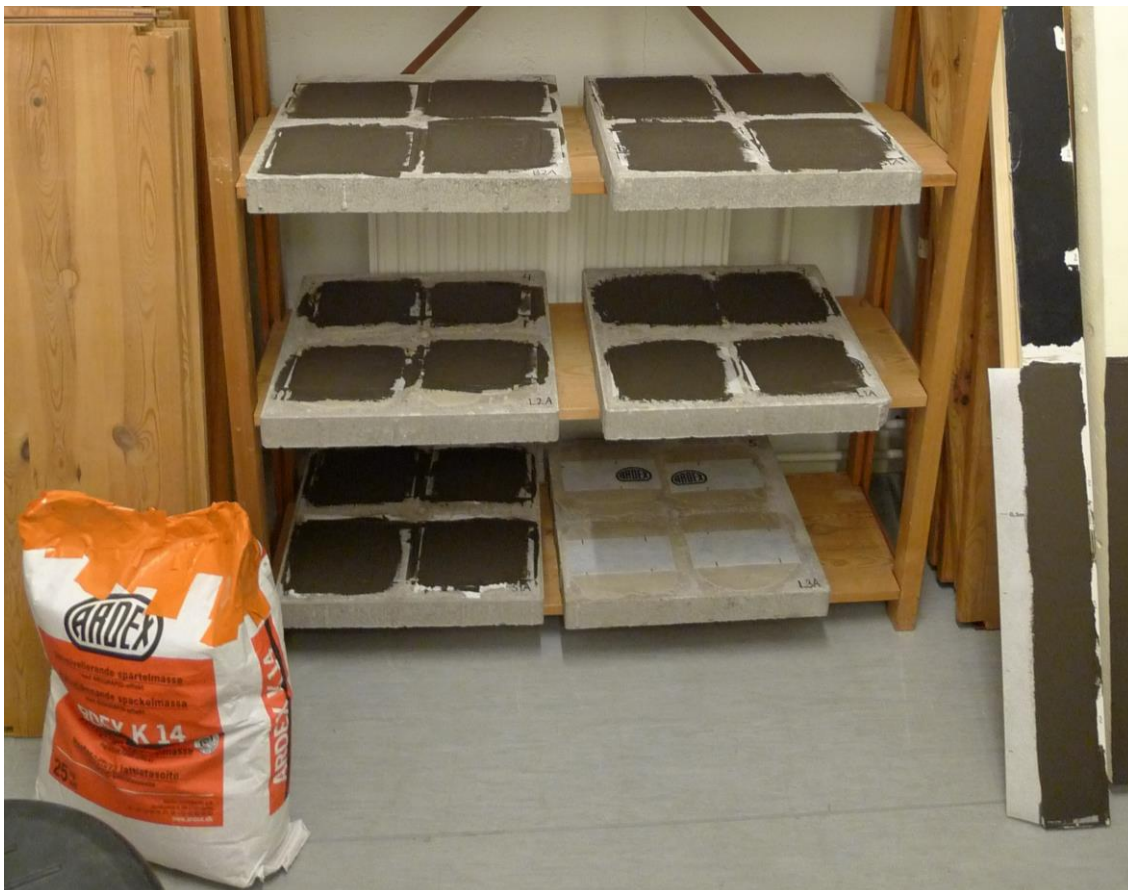
Testattavat pinnoitemateriaalit saatiin niiden valmistajilta. Pinnoitukset tehtiin noudattaen valmistajien ilmoittamia ohjeita alustan käsittelemisessä, seossuhteissa, levityspaksuuksissa ja kuivumis- tai kovettumisajoissa. Pinnoitukset tehtiin 11.5.–1.8.2015 välisenä aikana liitteessä 1 esitetyn aikataulun mukaan. Pinnoitukset tehtiin sisätiloissa ilman suhteellisen kosteuden ollessa noin 35 % ja lämpötilan noin 20 °C.

Betoniset koekappaleet, joista sementtiliima oli poistettu, valmistettiin imuroimalla niiden pinnat huolellisesti juuri ennen pinnoitusta. Puiset ja teräksiset koekappaleet valmistettiin pyyhkimällä ne huolellisesti nihkeällä mikrokuituliinalla. Testattaessa epoksi-pinnoitteita, jotka käyttöohjeen mukaan edellyttivät alustan karhennusta hiomalla, alusta hiottiin käsin karkeusasteen K40 hiomapaperilla, imuroitiin ja pyyhittiin mikrokuituliinalla puhtaaksi hiontapölystä. Muovimatto ja höyrynsulkumuovi puhdistettiin mikrokuituliinalla pyyhkimällä. Kaikki pinnat olivat aistinvaraisesti tarkasteltuna ennen pinnoitusta tasaisia, kiinteitä ja puhtaita irtoliasta.

Neljän tartuntavetolujuustestin suorittamiseksi kustakin materiaaliyhdistelmästä pinnoitettiin neljä aluetta (kuva 6). Kaikki neljä pinnoitusta tehtiin pääsääntöisesti samaan koekappaleeseen pyrkien tekemään niistä kaikin puolin identtisiä. Kahdesta eri komponentista sekoitettavia pinnoitteita käytettäessä saman koekappaleen pinnoitukset tehtiin samasta seoserästä ja seoserät käytettiin välittömästi. Pinnoitteiden seossuhteiden mittaamiseen käytettiin Wilfa KW-4 -keittiövaakaa. Kukin pinnoitekerros levitettiin samalla kertaa kaikkiin neljään kohtaan, jotta kuivumisaikojen välillä ei olisi syntynyt eroja. Pinnoitteet levitettiin niin suurelle alueelle kuin oli tarpeen, jotta pinnasta saatiin yhtenäinen. Vetoalueet leikattiin jälkikäteen irti pinnoitetusta alueesta joko katkoteräveitsellä tai timanttireikäсахalla. Epoksinpinnoitteet (Oy TKR-Coatings Ltd:n pinnoitteet ja Uzin PE 460 New -pinnoite) levitettiin vain vetonastan kokoiselle alueelle.

4.2.4 Tartuntavetolujuusmittausten suoritus

Pinnoitusten kuivuttua niihin kiinnitettiin vetonastat. Vetonastat kiinnitettiin kohtiin, joissa pinnoite oli tasainen ja johon vetolaitteen sai asetettua siten, että sen kaikki kolme jalkaa tukeutuivat kappaleen päälle. Kunkin koekappaleen neljä samanlaista vetonastaa liimattiin samaan aikaan, ja vetokokeet suoritettiin samaan aikaan. Vetonastojen kiinnitys tehtiin Casco Strong Epoxy Professional ja Casco Strong Epoxy Metal-liimoilla suoraan päällimmäisen pinnoitekerroksen pintaan. Molempien liimojen kovetumisaika oli 24 tuntia. Koska kutakin vetonastaa jouduttiin käyttämään useamman kerran, liima poistettiin nastoista vetojen välissä kuumailmapuhaltimella lämmittämällä, kaapimalla ja lopuksi käsin hiomalla.



Kuva 6. Hyllyssä betonisten koekappaleiden pinnoituksia. Kukin koekappale edustaa yhtä materiaaliyhdistelmää, ja kunkin koekappaleen kaikista neljästä testipinnasta pyrittiin saamaan identtiset. Oikealla pystyssä olevaan höylättyyn puulistaan on tehty kahden eri materiaaliyhdistelmän pinnoitukset.

Vetonastan liimauksen kovetuttua vedettävä alue leikattiin metallisella katkoteräveitsellä vetonastan reunaa pitkin alustaan saakka irti. Höylättyyn puuhun ja maalattuun puuhun tehtyjä pinnoituksia leikattaessa veitsi leikkasi uran myös puuhun. Betonille ja tasoitteelle tehtyjä pinnoituksia leikattaessa veitsi ei leikannut uraa alustamateriaalin pinnan läpi. Tällaisia kappaleita olivat kaikki muut betoni- ja tasoitekoekappaleet paitsi B1A, B2B, L1B, L3B ja B1C, joihin ura leikattiin timanttireikäсахalla alustan pinnan läpi.

Varsinaisen vetokokeen suoritus aloitettiin ruuvaamalla pinnoitteeseen liimattuun vetonastaan teräsruuvi (kuvat 3a ja 4a), jonka toinen pää kiinnitettiin vetolaitteen männäksä olevaan lukkoon. Tämän jälkeen vetolaite säädettiin vesivaa'an avulla suoraan siten,

että se oli vaakasuoruudeltaan samassa linjassa vedettävän kappaleen kanssa. Tällöin veto saatiin kohdistettua kohtisuoraan kappaleen pintaa vastaan. Vetolaitteen mittarin kiinnitys varmistettiin. Lisäksi tarkistettiin, että sen molemmat osoittimet olivat nollassa ennen vedon aloittamista. Veto aloitettiin vääntämällä männän ruuvia vivuista myötäpäivään tasaisella nopeudella noin 0,25 kN/s. Vääntämistä jatkettiin, kunnes voima lakasi murren tapahtuttua nousemasta, ja toinen mittarin osoittimista palautui nolnaan.

Mittarin murtovoimaa osoittamaan jäänyt osoitin kierrettiin ennen seuraavaa vetokoetta takaisin nolnaan, ja seuraava vetokoe suoritettiin edellä kuvatun mukaisesti. Tulokset tartuntavetolujuusmittauksista on esitetty luvussa 5.2. Kuvia vetokokeista on esitetty liitteessä 12.

5 Merkkiainetutkimusten ja tartuntavetolujuusmittausten tulokset

5.1 Merkkiainetutkimusten ja rakenneavausten tulokset

Koonti merkkiainekokeiden ja rakenneavausten tuloksista on esitetty taulukossa 7. Tiivistysten ikään liittyvä epävarmuus on esitetty luvun 4 taulukossa 1.

Taulukko 7 (jatkuu seuraavalla sivulla). Tehdyt rakenneavaukset. Sarakkeissa on tehdyn rakenneavauksen ikä, tiiviys, tiivistysmateriaali sekä tiivistyksen laatu ja ikä vuosina.

| Avaus | Tiivis | Tiivistysmateriaali | Tiivistyksen laatu | Ikä (v) |
|-------|--------|-----------------------------------|--|---------|
| 1 | kyllä | vedeneristemassa ja vahvikekangas | osittain oikein, kiinni alustassaan | 2,5 |
| 2 | ei | vedeneristemassa ja butyyliteippi | väärin tehty, kiinni alustassaan ¹⁾ | 2,5 |
| 3 | kyllä | vedeneristemassa ja vahvikekangas | oikein tehty, kiinni alustassaan | 3 |
| 4 | ei | epoksointi ja butyyliteippi | väärin tehty, kiinni alustassaan ²⁾ | 3,5 |
| 5 | kyllä | epoksointi ja butyyliteippi | väärin tehty, kiinni alustassaan ²⁾ | 3,5 |
| 6 | ei | epoksointi ja butyyliteippi | väärin tehty, kiinni alustassaan ²⁾ | 3,5 |
| 7 | ei | epoksointi ja butyyliteippi | väärin tehty, kiinni alustassaan ²⁾ | 3,5 |
| 8 | ei | epoksointi ja butyyliteippi | väärin tehty, irti alustastaan ³⁾ | 3,5 |
| 9 | kyllä | epoksointi ja butyyliteippi | väärin tehty, irti alustastaan ⁴⁾ | 3,5 |
| 10 | ei | epoksointi ja butyyliteippi | väärin tehty, irti alustastaan | 3,5 |
| 11 | ei | vedeneristemassa ja butyyliteippi | väärin tehty, irti alustastaan | 2,5 |
| 12 | kyllä | butyyliteippi | väärin tehty, irti alustastaan ⁵⁾ | 0,5 |
| 13 | ei | butyyliteippi | väärin tehty, irti alustastaan | 0,5 |
| 14 | ei | vedeneristemassa ja butyyliteippi | väärin tehty, irti alustastaan | 3,5 |
| 15 | ei | vedeneristemassa ja butyyliteippi | väärin tehty, irti alustastaan | 3,5 |
| 16 | ei | vedeneristemassa | väärin tehty, irti alustastaan | 3,5 |

¹⁾ Butyyliteippi oli kiinnitetty huokoiseen seinätasoitteeseen, joka päästää kaasua lävitseen. Butyyliteipillä jatkettu höyrynsulkumuovi oli lisäksi rikottu nauloin, joiden aiheuttamat reiät vuotavat.

²⁾ Tiivistys oli jäänyt alttiiksi kosteusrasitukselle, sillä kosteaksi todetun lattiarakenteen epoksipinnoitetta ei ollut levitetty butyyliteipin alle, vaan ainoastaan sen päälle.

³⁾ Tiivistys oli asennettu materiaalivalmistajan ohjeen mukaan käsitellylle alustapinnalle, mutta huonetilan nurkassa butyyliteipin ja seinäpinnan väliin oli jäänyt rako, jonka kautta pääsi vuotamaan ilmaa.

⁴⁾ Butyyliteippi oli asennettu epätasaiselle alustalle lasikuituverkon päälle. Liittymään sivelty epoksipinnoite on todennäköisesti tehnyt tiivistyksestä tiiviin.

⁵⁾ Tiivistetty liittymä sijaitsi nurkassa paikalla valetun seinän ja välipohjan liittymässä, joka on todennäköisesti ollut tiivis jo ennen tiivistystä.

Taulukko 7 jatkuu. Tehdyt rakenneavaukset. Sarakkeissa on tehdyn rakenneavauksen ikä, tiiviys, tiivistysmateriaali, tiivistyksen laatu ja ikä vuosina.

| Avaus | Tiivis | Tiivistysmateriaali | Tiivistyksen laatu | Ikä (v) |
|-------|--------|-----------------------------|--|-----------------|
| 17 | ei | butyyliteippi | väärin tehty, kiinni alustassaan ⁶⁾ | 1 |
| 18 | ei | butyyliteippi | väärin tehty, irti alustastaan | - ⁹⁾ |
| 19 | ei | butyyliteippi | väärin tehty, irti alustastaan | - ⁹⁾ |
| 20 | ei | epoksointi ja butyyliteippi | väärin tehty, irti alustastaan | 1,5 |
| 21 | ei | butyyliteippi | väärin tehty, irti alustastaan | 1,5 |
| 22 | kyllä | butyyliteippi | väärin tehty, kiinni alustassaan ⁷⁾ | 1,5 |
| 23 | ei | butyyliteippi | väärin tehty, kiinni alustassaan ⁷⁾ | 1,5 |
| 24 | ei | butyyliteippi | väärin tehty, irti alustastaan | 1,5 |
| 25 | ei | butyyliteippi | väärin tehty, irti alustastaan | 1,5 |
| 26 | kyllä | butyyliteippi | väärin tehty, irti alustastaan ⁸⁾ | 1,5 |

⁶⁾ Butyyliteippi oli kiinni alustassaan, mutta se oli kiinnitetty vinyylilaattoihin, joiden väliset saumat eivät ole tiiviit.

⁷⁾ Butyyliteippi oli kiinni alustassaan, mutta se oli kiinnitetty keraamisten laattojen pintaan epätasaiselle alustalle. Teipin limitykset ja tartuntapinnat olivat lisäksi liian pienet, mikä aiheuttaa vuotoa.

⁸⁾ Tiivistetty liittymä sijaitsi nurkassa kahden ulkoseinäelementin liitoskohdassa, joka oli todennäköisesti ollut tiivis jo ennen tiivistystä.

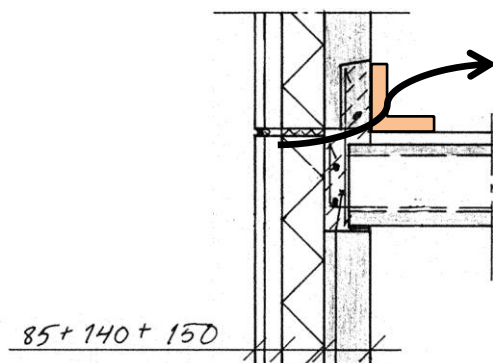
⁹⁾ Tarkkaa tietoa tiivistysten iästä ei ole saatavilla. Todennäköinen ikä on 1–3 vuotta.

5.1.1 Kohde A

Kohde A oli vuonna 1988 valmistunut kaksikerroksinen betonielementtirunkoinen rakennus. Kohteeseen oli laadittu korjaussuunnitelmia vuonna 2011 ja 2012 ilmapuotojen tiivistämistä varten. Ilmapuototiivistykset oli toteutettu todennäköisesti vuonna 2012. Kohteesta valittiin käyttäjien ehdotuksesta tutkittavaksi kaksi sellaista tilaa, jotka olivat hiihtolomaviikon vuoksi joutilaina.

Tila 1, rakenneavaus 1

Toinen tiloista, tila 1, oli ensimmäisen kerroksen tila, jossa oli ryömintätilallinen ontelolaatta-alapohja ja teräsbetonisandwichelementtiulkoseinä. Tutkimuksen kohteena oli alapohjan ja ulkoseinän liittymä. Ontelolaatat oli tuettu kantavan ulkoseinän varaan tukikaistan välityksellä (kuva 7). Reitti ilmapuodoille ulkoseinän eristetilasta huoneilmaan on saattanut alun perin muodostua, kun kuminen tukikaista on painunut ja ontelolaatan ja seinän väliseen valuun on muodostunut leikkausjännityksen aiheuttamia halkeamia.



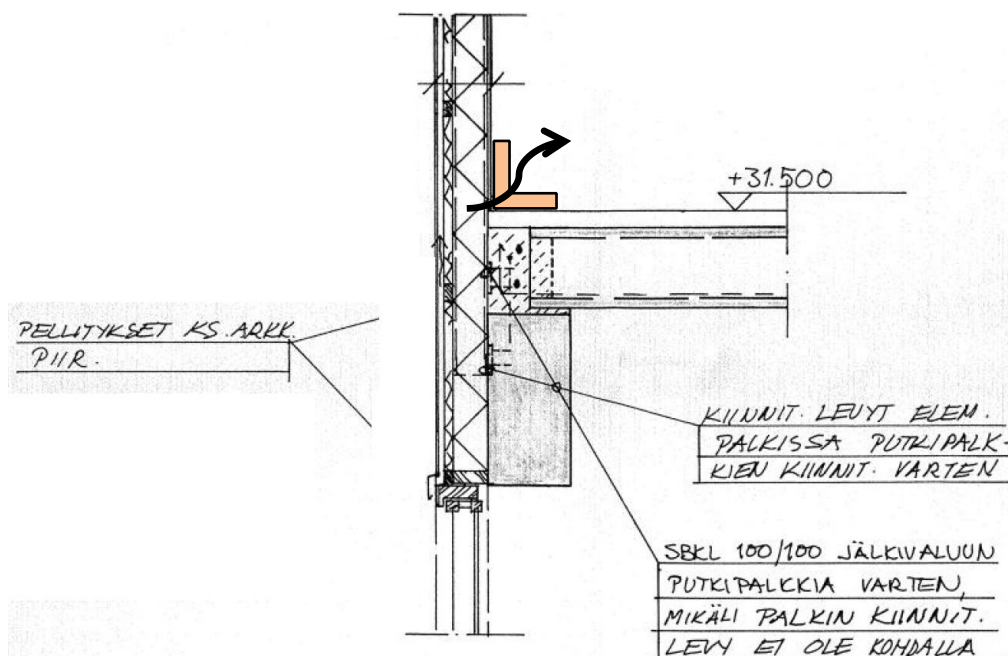
Kuva 7. Tila 1, ulkoseinän ja alapohjan liittymä. Kuvassa myös tiivistyksen sijainti sekä ilmapuotoreitti. Lupa kuvan julkaisuun: Vantaan kaupungin tilakeskus.

Merkkiainetutkimuksen koejärjestely ja tulokset sekä rakenneavauksen sijainti on esitetty liitteen 3 kuvassa 1. Merkkiainetutkimuksen perusteella liittymässä ei havaittu mer-

kittäviä epätiivelyskohtia. Rakenneavauksia tehtiin yksi (rakenneavaus 1), ja siinä poistettiin lattialista liittymän kohdalta. Rakenneavauksen perusteella liittymä oli tiivistetty levittämällä Ardex 8+9 -vedeneristemassa ja Ardex SK 12 -vahvistusnauha liittymän yli. Vahvistusnauhan päälle oli levitetty vielä uusi kerros vedeneristemassaa. Tartunta-alustana vedeneristemassalle oli betoniseinällä huokoinen, maalattu seinätasoite ja lattiasa sementtipohjainen lattiatasoite (liite 3, kuvat 2, 3 ja 4). Tiivistys näytti hyväkuntoiselta, ja se oli kiinni alustassaan.

Tila 2, rakenneavaus 2

Tila 2 oli ensimmäisen kerroksen tila, jossa oli ontelolaatta-alapohja ja kevyt levyrakenteinen ulkoseinä (kuva 8). Välittömästi ulkoseinän sisäpuolella oli pilarilinja. Alkuperäisestä ulkoseinärakenteesta oli puuttunut höyrynsulku, joka lisättiin rakenteeseen vuoden 2012 korjauksessa. Höyrynsulkua ei ollut ulotettu ulkoseinässä pilarin taakse, vaan pilarista oli tehty osa höyrynsulkua tiivistämällä se kiinni höyrynsulkuun butyyliteipillä (liite 3, kuvat 6, 7 ja 8). Rakenne oli ollut siten monilta osin vaikea toteuttaa ilmatiiviisti. Tilassa tutkittiin alapohjan ja ulkoseinän liittymän sekä pilarin ja ulkoseinän liittymän ilmatiiviyttä.



Kuva 8. Alkuperäispiirustusten mukainen tilan 2 alapohjan ja kevyen ulkoseinän liittäminen. Kuvassa myös tiivistyksen sijainti sekä ilmavuoretti. Olemassa oleva ulkoseinärakenteen poikkeaa piirustuksesta ja on sisältä ulos: kipsilevy 13 mm, höyrynsulkumuovi, mineraalivilla 120 mm, tuulensuojalevy 30 mm, tuuletusväli 20 mm, säänkestävä vaneri 12 mm, pellitys. Lupa kuvan julkaisuun: Vantaan kaupungin tilakeskus.

Merkkiainetutkimuksen koejärjestely ja tulokset sekä rakenneavauksen sijainti on esitetty liitteen 3 kuvassa 5. Merkkiainetutkimuksen perusteella liittymissä havaittiin lieviä epätiivelyskohtia ulkoseinän ja alapohjan liittymässä sekä pilarin juurella pilarin ja ulkoseinän sisäpinnan yhtymäkohdassa.

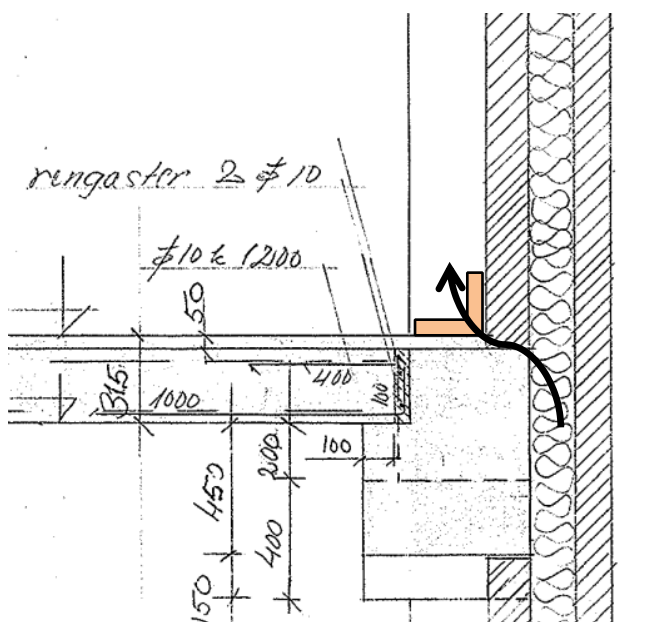
Rakenneavauksia tehtiin yksi (rakenneavaus 2), ja siinä poistettiin lattialistat, linoleumlattiamattoja sekä kipsilevyä liittymän kohdalta. Rakenneavauksen perusteella lattian ja levyseinän liittymä oli tiivistetty levittämällä Ardex 8+9 -vedeneristemassa ja Ardex SK 12 -vahvistusnauha liittymän yli. Vahvistusnauhan päälle oli levitetty vielä uusi kerros vedeneristemassaa. Liittymään oli levitetty myös toista, yksikomponenttista vedeneris-

temassaa. Tartunta-alustana vedeneristemassalle oli seinällä höyrynsulkumuovi ja lattialla betoni ja lattiatasoite. Pilarissa vedeneristemassan tartuntana oli huokoinen tasoite. Pilarin liitos höyrynsulkuun oli toteutettu Ardex STB 15-75 tai Codex BST 75 -butyylliteipillä. Teipin tartuntana olivat höyrynsulkumuovi ja pilarin huokoinen tasoite. Teippiä oli ulotettu myös lattialle lattiatasoitteen päälle.

5.1.2 Kohde B

Tila 3, rakenneavaus 3

Kohde A oli vuonna 1980 valmistunut kaksikerroksinen pilari-palkkirunkoinen rakennus. Kohteen ilmapuototiivistykset oli toteutettu todennäköisesti vuonna 2012. Kohteesta valittiin käyttäjien ehdotuksesta tutkittavaksi yksi huone, joka oli hiihtolomaviikon vuoksi joutilaana. Kyseessä oli toisen kerroksen tila, jonka lattiarakenteena oli betonielementtivalipohja ja ulkoseinänä paikalla muurattu tiili-villa-tiili-rakenne (kuva 9). Ulkoseinän eristekerros jatkui välipohjalaatan ohitse. Sisäpuolen tiilimuuraus alkoi välipohjalaatan päältä. Tutkimuksen kohteena oli kuvan 9 mukainen välipohjan ja ulkoseinän liittyminen.



Kuva 9. Tila 3, ulkoseinän ja välipohjan liittyminen. Kuvassa myös tiivistyksen sijainti sekä ilmapuotoreitti. Lupa kuvan julkaisuun: Vantaan kaupungin tilakeskus.

Merkkiainetutkimuksen koejärjestely ja tulokset sekä rakenneavauksen sijainti on esitetty liitteen 4 kuvassa 9. Merkkiainetutkimuksen perusteella liittymässä ei havaittu merkittäviä epätiiviyskohtia. Huomionarvoista on, että epätiiviyskohtia ei ollut myöskään puhtaaksi muuratusta tiiliseinässä, jota ei ollut tiivistetty. Tämä saattaa kertoa siitä, että seinä itsessään oli alinta tiiliriviä ja sen lattialiitosta myöten niin tiivis, että varsinaisten ilmapuototiivistysten merkitys ilmatiiviydessä oli pieni.

Ylös nostettua lattiamattoja avattiin tutkitun liittymän kohdalta (rakenneavaus 3). Rakenneavauksen perusteella liittyminen oli tiivistetty levittämällä Ardex 8+9 -vedeneristemassaa ja Ardex SK 12 -vahvistusnauha liittymän yli. Vahvistusnauhan päälle oli levitetty vielä uusi kerros vedeneristemassaa. Tartunta-alustana vedeneristemassalle oli sementtipohjainen tasoite sekä seinällä että lattialla (liite 4, kuvat 10, 11 ja 12).

5.1.3 Kohde C

Kohde C oli vuonna 1986 valmistunut yksikerroksinen rakennus, jonka yläpohja ja ulkoseinät olivat pääosin puurakenteisia ja alapohjana oli maanvarainen teräsbetoni-laatta. Ulkoseinät oli rakennettu sokkelipalkkien varaan. Kohteen ilmapuototiivistykset oli tehty kesällä 2011 käyttäjien sisäilman laatuvauteisiin viittaavan oireilun vuoksi. Käyttäjien kertoman mukaan oireilu oli hävinnyt korjausten jälkeen noin kahden vuoden ajaksi, mutta alkanut sitten uudelleen. Rakennuksen yläpohjassa oli todettu kosteusvaurioita tiivistysten jälkeisenä aikana, ja vesikattoa oli korjattu. Kohteesta valittiin käyttäjien ehdotuksesta tutkittavaksi neljä sellaista huonetta, joissa he sillä hetkellä kokivat oireilua.

Kohde oli ilmapuototiivistysten kannalta hankala, sillä puurakenteisten ulkoseinien ilmatiiviys perustui lähinnä sisäverhouslevyyn ja höyrynsulkuun, joiden aikaansaama ilmatiiviys puolestaan on kiinni siitä, miten huolellisesti höyrynsulku limityksineen on aikanaan asennettu ja sisäverhouslevyt saumattu. Alkuperäisten piirustusten mukaan tilaan 5 on suunniteltu koko ulkoseinän alueelle ulottuva höyrynsulku. Muiden tilojen leikkauspiirustuksissa höyrynsulkua ei ole, vaikkakin on todennäköistä, että se on asennettu.

Kaikki tiivistykset oli päätetty toteuttaa kipsilevyjen huonetilan puoleiseen pintaan. Ratkaisu ei ole välttämättä tiivistystarkoituksessa tehokas, sillä tiedetään, että puurakenteisten ulkoseinien tiivistyksellä ilman sisäverhouslevyjen purkamista on vaikea saavuttaa täydellistä tiiviyyttä (Laine 2014, s. 87). Mahdollisia epätiiveyskohtia ovat levyjen väliset saumat ja liitokset ympäröiviin rakenteisiin.

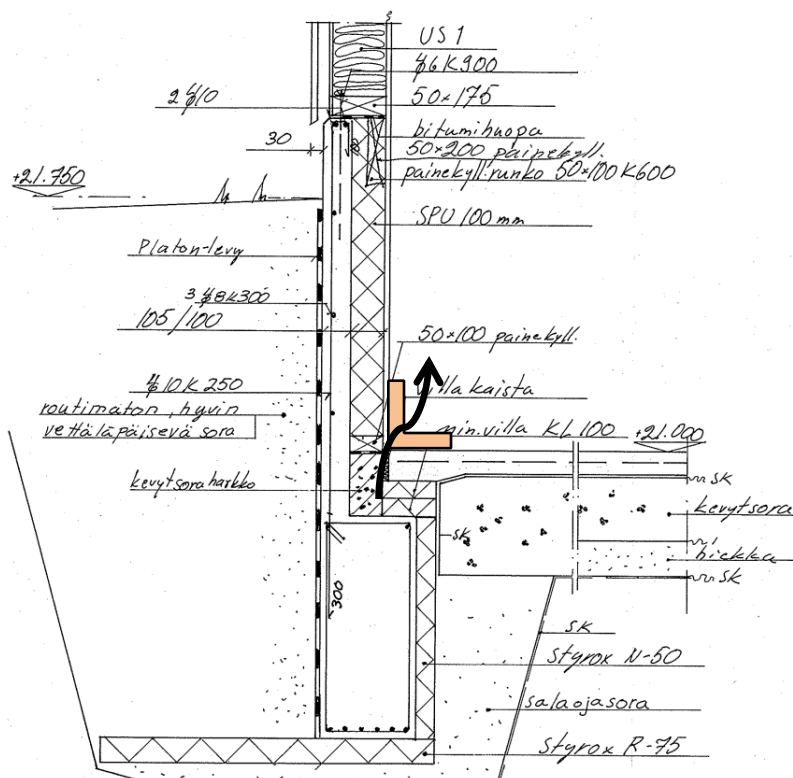
Tila 4, rakenneavaukset 4 ja 5

Tilassa 4 tutkittiin alapohjan ja ulkoseinän liittymää, jonka alkuperäispiirros on esitetty kuvassa 10. Lattian pinta oli seinälinjalla osin maan pinnan alapuolella. Korjausten yhteydessä oli huomattu, että seinän alasidepuu oli piirustuksesta poiketen kiinnitetty tarkoitettua alemmas suoraan betoniseen sokkelipalkkiin ilman väliin kuuluvaa bitumikaistaa ja kevytsoraharkkoa, jolloin se oli päässyt kastumaan. Rakenteessa ei ollut myöskään höyrynsulkumuovia. Rakenteeseen päädyttiin tiivistysten yhteydessä asentamaan höyrynsulkukalvo ulottuvaksi sisäverhouslevyn sisäpinnasta suorana alas sokkelipalkkiin asti. Toimenpidettä varten auki piikattu alapohjajalaatan reuna valettiin umpeen laastilla. Lisätty höyrynsulkukalvo oli määrä kiinnittää sisäverhouslevyyn Codex BST 75 -butyyliteipillä ja Uzin PE 460 -epoksipinnoitteella. Höyrynsulkukalvoa ei kuitenkaan rakenneavauksessa löytynyt tutkitulta korkeudelta. Lattian ja sisäverhouslevyn liittymäkohdassa oli sen sijaan elastinen kitti. Liittymän epoksipinnoite oli ulotettu koko lattian alueelle kosteussulaksi. Uusi lattiamatto oli asennettu 100 mm ylösnostolla (liite 5, kuvat 14–16).

Merkkiainetutkimuksen koejärjestely ja tulokset sekä rakenneavausten sijainnit on esitetty liitteen 5 kuvassa 13. Merkkiainetutkimuksen perusteella liittymässä havaittiin yksi merkittävä epätiiveyskohta, joka sijaitti nurkassa kahden ulkoseinän yhtymäkohdassa. Muut kohdat olivat tiiviitä. Rakenneavauksia tehtiin kaksi, joista toinen tehtiin vuoto-kohtaan ja toinen tiiviiseen kohtaan.

Vuotokohtaan tehdyssä rakenneavauksessa (rakenneavaus 4) ylös nostettua mattoa avattiin, jolloin saatiin näkyviin Codex BST 75 -butyyliteippi ja sen päälle levitetty Uzin PE 460 -epoksipinnoite. Koska kyseessä oli nurkka, siinä oli myös kahden kipsilevyn välinen sauma. Mattonoston yläpuolinen osa kipsilevyistä ja niiden välisestä saumasta oli

pinnoitettu maalatululla lasikuitutapetilla, mutta mattonoston alla oli pätkä pinnoittamatonta kipsilevysaumaa, jolle myöskään butyyliteippi tai epoksinnoite ei ulottunut (liite 5, kuvat 14–16). Pinnoittamaton ja tiivistämätön kipsilevyn sauma on saattanut olla vuodon syy. Butyyliteippi ja epoksinnoite näyttivät hyväkuntoisilta ja olivat kiinni alustassaan. Kipsilevyissä havaittiin tummumaa, joka saattoi johtua korjauksen jälkeen jatkuneesta kosteusrasituksesta. Butyyliteipin tartunta-alusta oli kipsilevyn kartonkipinta ja epoksinnoitteen tartunta-alusta butyyliteipin kangaspinta. Koska kyseessä oli alustasta nousevaa kosteutta vastaan tehty korjaus, kosteutta kestävä epoksinnoite olisi tullut levittää sekä butyyliteipin alle että päälle sen sijaan, että se oli levitetty vain teipin päälle. Tiivistysmateriaalit olivat hyväkuntoiset ja kiinni alustassaan.



Kuva 10. Tila 4, ulkoseinän ja alapohjan liittymä. Kuvassa myös tiivistyksen sijainti sekä ilmapuotoreitti. Ulkoseinärakenteiden havaittiin alkavan alemmaa kuin mitä tässä alkuperäispiirustuksessa esitetään. Rakenteisiin tehtiin pelkkiä ilmapuototiivistyksiä laajemmat korjaukset, joissa lopulta päädyttiin muun muassa koko lattian epoksointiin. Lupa kuvan julkaisuun: Vantaan kaupungin tilakeskus.

Tiiviiseen kohtaan tehdyssä rakenneavauksessa (rakenneavaus 5) ylös nostettua mattoa avattiin ja näkyville saatiin butyyliteippi ja sen päälle levitetty epoksinpinnoite, kuten vuotokohdan rakenneavauksessa. Butyyliteippi ja epoksinpinnoite näyttivät hyväkuntoisilta ja olivat kiinni alustassaan (liite 5, kuvat 17 ja 18). Tartunta-alustana oli butyyliteipille sen yläreunassa kipsilevyn lasikuitutapetti ja alareunassa elastinen kitti. Epoksinpinnoitteen tartunta-alusta oli butyyliteipin kangaspinta.

Tila 5, rakenneavaukset 6 ja 7

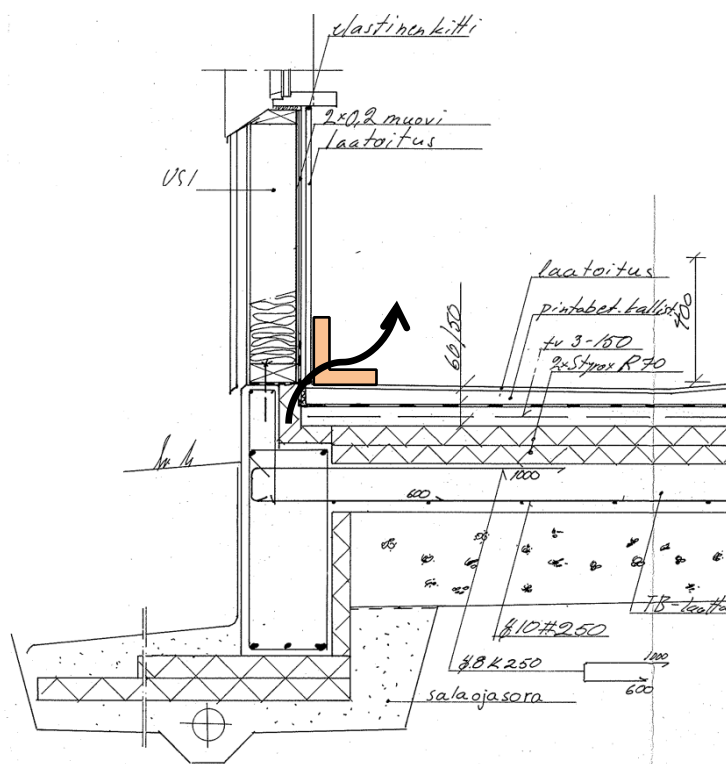
Tilassa 5 tutkittiin alapohjan ja ulkoseinän liittymää, jonka rakenne on esitetty kuvassa 11. Rakenteessa on kantavan alapohjalaatan ja pintabetonoinnin välissä EPS-levy. Pintabetoni on erotettu sokkelirakenteesta villakaistalla. Ulkoseinän alasidepuu, jonka alle on ensin asennettu bitumikermi, on kiinnitetty sokkelipalkkiin. Ulkoseinä on puuraken- teinen ja sen 150 mm paksun villaeristekerroksen sisäpuolella on höyrynsulkumuovi.

Sisäverhous on lasikuitutapetilla päällystettyä kipsilevyä. Tilassa oli tilan 4 tavoin päädytty koko lattian pinnoitukseen epoksipohjustimella kosteusrasituksen vuoksi.

Merkkiainetutkimuksen koejärjestely ja tulokset sekä rakenneavausten sijainnit on esitetty liitteen 5 kuvassa 19. Merkkiainetutkimuksen perusteella liittymässä havaittiin kaksi merkittävää epätiivelyskohtaa, joista toinen sijaitsi nurkassa kahden ulkoseinän yhtymäkohdassa ja toinen ulkoseinälinjan suoralla osalla. Muut kohdat olivat tiiviitä. Rakenneavauksia tehtiin kaksi, ja ne molemmat tehtiin havaittuihin vuotokohtiin.

Nurkkaan tehdyssä rakenneavauksessa (rakenneavaus 6) ylös nostettua mattoa avattiin, jolloin saatiin näkyviin Codex BST 75 -butyyliteippi ja sen päälle levitetty Uzin PE 460 -epoksinpinnoite. Koska kyseessä oli nurkka, siinä oli myös kahden kipsilevyn yhtymäkohta. Kipsilevyt ja niiden väliset saumat oli pinnoitettu lasikuitutapetilla (liite 5, kuvat 20 ja 21). Butyyliteippi ja epoksinpinnoite näyttivät hyväkuntoisilta ja olivat kiinni alustassaan. Butyyliteipin tartunta-alusta oli lasikuitutapetti ja epoksinpinnoitteen tartunta-alusta butyyliteipin kangaspinta.

Ulkoseinälinjan suoralle osalle tehdyn rakenneavauksen (rakenneavaus 7) löydökset olivat samat kuin nurkkaan tehdyn rakenneavauksen. Codex BST 75 -butyyliteippi oli asennettu elastisen kittauksen ja lasikuitutapetin päälle ja Uzin PE 460 -epoksinpinnoite butyyliteipin kangaspinnan päälle (liite 5, kuvat 22 ja 23). Tiivistys oli hyväkuntoinen ja kiinni alustassaan. Butyyliteipin tartuntapinta ei ollut täysin tasainen.



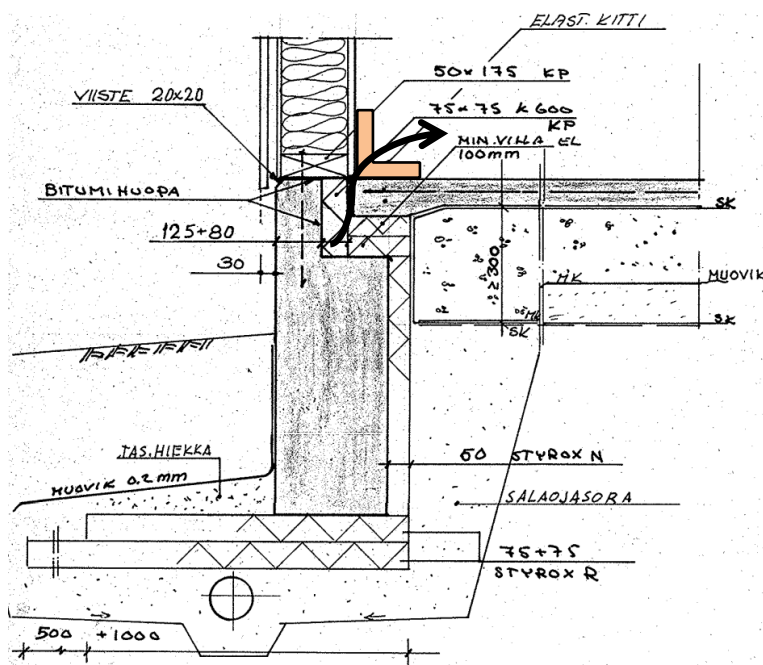
Kuva 11. Tila 5, ulkoseinän ja alapohjan liittymä. Kuvassa myös tiivistyksen sijainti sekä ilmavuotoreitti. Tutkittu rakenne poikkeaa kuvassa esitetyistä siten, että siinä ei ole märkätilan vedeneristystä, kallistusvalua tai laatoitusta. Pintabetonilaatan liitokset ympäröiviin rakenteisiin ja alasidepuun liitos sokkelipalkkiin ovat kuvan mukaiset. Lupa kuvan julkaisuun: Vantaan kaupungin tilakeskus.

Tila 6, rakenneavaus 8 ja tila 7, rakenneavaukset 9 ja 10

Tiloissa 6 ja 7 tutkittiin alapohjan ja ulkoseinän liittymiä, joiden rakenne on esitetty kuvassa 12. Ulkoseinän liittymässä pintabetoni on erotettu sokkelirakenteesta villakais-talla. Ulkoseinän alasidepuu, jonka alle on ensin asennettu bitumikermi, on kiinnitetty sokkelipalkkiin. Pintabetoni on erotettu sokkelirakenteesta villakaistalla. Sisäpuolen pintamateriaalina oli seinässä maalattu kipsilevy ja lattiassa tasoitteen päälle asennettu puuparketti.

Merkkiainetutkimuksen koejärjestely ja tulokset sekä rakenneavauksen sijainti on esitetty liitteen 5 kuvassa 24. Merkkiainetutkimuksen perusteella liittymässä havaittiin yksi merkittävä epätiiviyyskohta, joka sijaitsi nurkassa kahden ulkoseinän yhtymäkohdassa. Muut kohdat olivat tiiviitä. Rakenneavauksia tehtiin yksi, ja siinä avattiin sekä vuotava nurkka että tiivis seinälinja.

Nurkkaan tehdyssä rakenneavauksessa (rakenneavaus 8) listat ja pala parkettia poistettiin, jolloin saatiin näkyviin Codex BST 75 -butyyliteippi ja sen päälle levitetty Uzin PE 460 -epoksinnoite. Koska kyseessä oli nurkka, siinä oli myös kahden kipsilevyn yhtymäkohta. Kipsilevyjen välinen sauma oli osittain kitattu (liite 5, kuvat 25–27). Butyyliteippi ja epoksinnoite olivat hyväkuntoiset ja kiinni alustassaan. Butyyliteippiä ei ollut painettu kiinni aivan nurkkaan asti, ja sinne oli jäänyt pieni rako. Butyyliteipin tartunta-alusta oli maalattu kipsilevy ja elastinen kitti. Epoksinnoitteen tartunta-alusta oli butyyliteipin kangaspinta. Sama rakenneavaus ulotettiin nurkasta alkavalle suoralle seinälinjalle, jossa ei havaittu epätiiviyyskohtia. Seinälinjan tiivistystapa oli samanlainen ja samoilla materiaaleilla tehty kuin nurkan: butyyliteippi oli asennettu maalatun kipsilevyn päälle ja epoksinnoite butyyliteipin kangaspinnan päälle. Kaikki tiivistykset olivat hyväkuntoisia.



Kuva 12. Tilat 6 ja 7, ulkoseinän ja alapohjan liittymä. Kuvassa myös tiivistyksen sijainti sekä ilmavuotoreitti. Lupa kuvan julkaisuun: Vantaan kaupungin tilakeskus.

Tilassa 7 tutkittiin alapohjan ja ulkoseinän liittymän lisäksi alapohjan ja kantavan väli-seinän liittymää, jonka rakenne on esitetty kuvassa 13. Väliseinä on tuettu anturan va-raan kevytsoraharkkojen ja alasidepuun välityksellä. Alasidepuun alla on bitumihuopa-

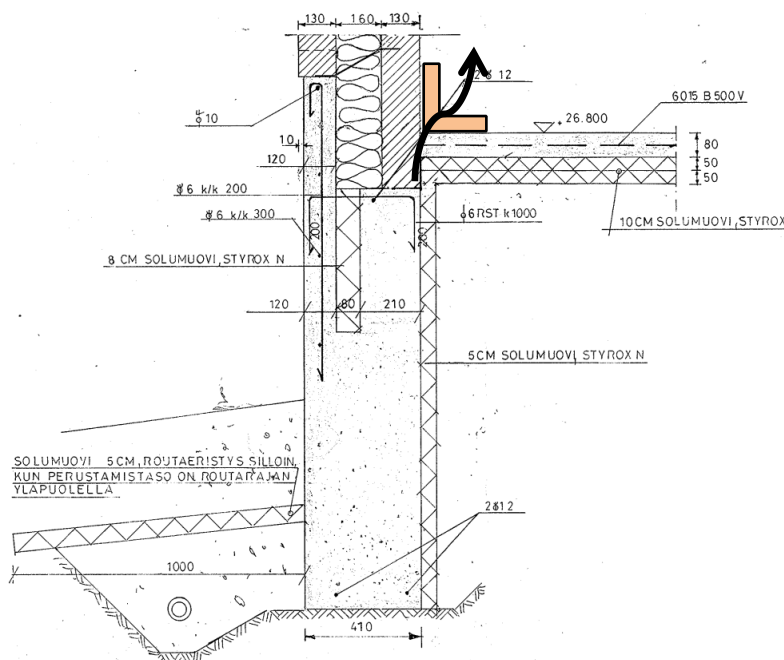
tiin tutkittavaksi yksi huone, jonka vanhoja tiivistyksiä uusittiin parhaillaan käyttäjien oireilun vuoksi.

Tila 8, rakenneavaus 11

Tilassa 8 tutkittiin alapohjan ja ulkoseinän liittymää, jonka alkuperäispiirros on esitetty kuvassa 14. Ulkoseinä oli tiili-villa-tiili-rakenteinen. Ulkoseinän alaosa ulottuu alapohjajalaan alapuolelle. Rakenteessa ei ole tuuletusrakoa ulomman tiilimuurauksen ja eristekerroksen välissä. Kyseessä on riskirakenne, jossa eristevilla ja tiilipinta ovat alttiit homehtumaan (Hometalkoot 2012, s. 24). Sisäpuolen pintamateriaali on puhtaaksi muurattu tiili.

Merkkiainetutkimuksen koejärjestely ja tulokset sekä rakenneavauksen sijainti on esitetty liitteen 6 kuvassa 35. Merkkiainetutkimuksen perusteella ulkoseinän ja alapohjan liittymissä havaittiin useita merkittäviä epätiiveyskohtia. Epätiiveyttä havaittiin koko seinälinjalla. Epätiiveyskohdat sijaitsivat etenkin tiilien välisissä saumoissa. Rakenneavauksia tehtiin yksi, ja siinä avattiin seinälinjaa.

Rakenneavauksessa (rakenneavaus 11) listat poistettiin ja lattiamattoja irrotettiin, jolloin saatiin näkyviin joko Codex BST 75 - tai Ardex STB 15-75 -butyyliteippi ja sen päälle levitetty Ardex 8+9 -vedeneristemassa (liite 6, kuvat 36–38). Butyyliteippi ei ollut kunnolla kiinni alustassaan, joka oli seinällä epätasainen maalattu ja osin tasoitettu tiili, ja lattiassa epätasainen lattiatasoite. Vedeneristemassan tartuntapintana oli pääosin butyyliteippi ja pieniltä osin maalattu tai tasoitettu tiiliseinä. Tiivistysmateriaalien asennusta ei ollut tehty oikein, sillä alustat oli puutteellisesti käsitelty, teippiä ei ollut painettu kunnolla kiinni ja vedeneristemassa oli levitetty suurimmaksi osaksi väärään paikkaan butyyliteipin päälle, kun se olisi pitänyt ulottaa teipin reunojen yli seinälle saakka.



Kuva 14. Tila 8, ulkoseinän ja alapohjan liittymä. Kuvassa myös tiivistyksen sijainti sekä ilmapuotoreitti. Lupa kuvan julkaisuun: Vantaan kaupungin tilakeskus.

5.1.5 Kohde E

Kohde E on vuonna 1970 valmistunut osittain monikerroksinen rakennus, johon on teetetty laaja peruskorjaus 2000-luvulla ja sen jälkeen useita sisäilman laatuun liittyviä

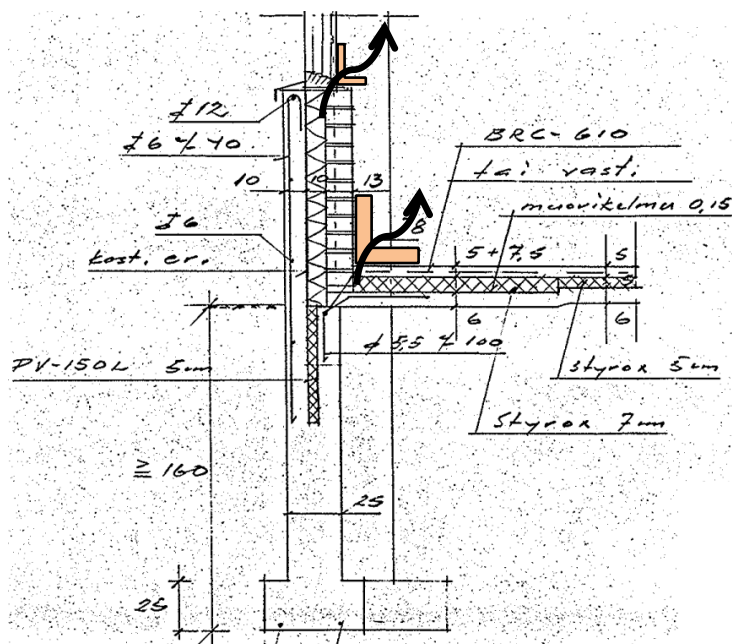
sen välisen sauman yli. Tutkittu liittymä on mitä ilmeisimmin ollut jo valmiiksi tiivis, sillä tiivistys oli silminnähden epäonnistunut.

Pilarin juureen tehdyssä rakenneavauksessa (rakenneavaus 13) tiivistyksen päälle liimattua muovilistaa poistettiin, jolloin saatiin näkyviin Codex BST 75 -butyyliteippi (liite 7, kuvat 40–42). Butyyliteippi oli liimattu seinällä epätasaisen ja puhdistamattoman maalatun tiiliseinän päälle ja lattialla muovimaton päälle. Butyyliteipin tartunta-alusta oli osin maali ja osin vanha listaliima. Teippi oli asennettu virheellisesti siten, että alusta ei ollut tasainen ja puhdas, teipin tartuntapinta-ala lattiamattoon oli liian pieni ja teippiä ei ollut ulotettu riittävän laajalle alueelle pilarin ja tiilimuurauksen välisen sauman yli.

Tila 10, rakenneavaukset 14, 15 ja 16

Tilassa 10 tutkittiin ulkoseinän ja ikkunan liittymää, ulkoseinän ja alapohjan liittymää, ulkoseinän ja pilarin liittymää sekä ikkunan ja pilarin liittymää. Alkuperäispiirros ulkoseinän ja alapohjan liittymästä on esitetty kuvassa 16. Ulkoseinän ulkokuori on betonia ja sisäpuoli puhtaaksi muurattu tiiliseinä. Alapohja on maanvarainen. Ulkoseinälinjan keskellä oli ulkoseinän eristekerrokseen rajoittuva ja alapohjalaatan lävistävä pilari.

Merkkiainetutkimuksen koejärjestely ja tulokset sekä rakenneavausten sijainnit on esitetty liitteen 7 kuvassa 46. Merkkiainetutkimuksen perusteella havaittiin merkittäviä ilmapuotoja kaikissa tutkituissa liittymissä. Rakenneavaukset tehtiin kaikkiin liittymiin, joissa oli vuotoja.



Kuva 16. Tila 10, ulkoseinän ja alapohjan liittymä. Kuvassa myös tiivistyksen sijainti sekä ilmapuotoreitti. Taustalla ulkoseinään liittyvä pilari. Lupa kuvan julkaisuun: Vantaan kaupungin tilakeskus.

Ikkunaliittymän rakenneavauksessa (rakenneavaus 14) poistettiin ikkunan ja ulkoseinän liittymästä metallinen ikkunalauda, jolloin saatiin näkyviin ikkunalaudan alle tiilimuurauksen päälle levitetty yksikomponenttinen vedeneristemassa (liite 7, kuvat 47–49). Vedeneristemassa oli levitetty epätasaisen muurauslaastin päälle. Ikkunankarmin ja tiilimuurauksen liittymässä oli akryylikittiä ja rippeitä solumuovitiivisteestä. Näiden päälle oli levitetty vedeneristemassaa ja asennettu vedeneristeen päälle joko Codex BST 75 -

tai Ardex STB 15-75 -butyylliteippi. Koko liittymän yli oli levitetty vielä yksi kerros vedeneristemassaa. Butyylliteipin tartunta-alusta oli osin vedeneristemassa, osin ikkunan karmin maali, osin kittaus ja osin solumuovi. Vedeneristemassa oli paikoin halkeillut kuivueessaan. Butyylliteippiä ei ollut kaikilta osin painettu kunnolla kiinni alustaan.

Ikkunan ja pilarin liittymän rakenneavauksessa (rakenneavaus 15) poistettiin pystysuora lista ikkunan karmin ja pilarin liittymästä, jolloin saatiin näkyviin listan alle levitetty yksikomponenttinen vedeneristemassa (liite 7, kuvat 50–52). Vedeneristemassa oli levitetty pilarin ja ikkunan välisessä raossa olevien eristevillan ja akryylikittauksen päälle. Vedeneristemassan päälle oli asennettu joko Codex BST 75 - tai Ardex STB 15-75 -butyylliteippi. Koko liittymän yli oli levitetty vielä yksi kerros vedeneristemassaa. Butyylliteipin tartunta-alusta oli osin vedeneristemassa, osin ikkunan karmin maali, osin pilarin maali, osin kittaus ja osin solumuovi. Tiivistys oli tehty virheellisesti samoista syistä kuin rakenneavauksen 2 mukainen tiivistys.

Rakenneavauksessa 16 poistettiin muovista lattialistaa ulkoseinän ja lattian liittymästä, jolloin saatiin näkyviin yksikomponenttista vedeneristemassaa (liite 7, kuvat 53–55). Vedeneristemassaa oli levitetty hyvin ohuelti liittymään vanhan listaliiman ja lattiamaaton päälle. Liittymässä oli nähtävissä rippeitä jonkinlaisesta kuituvahvisteisesta vahvikekankaasta, mutta sitä ei ollut kaikkialla. Tiivistys oli tehty kaikin puolin väärin, sillä siinä oli käytetty kutistuvaa yksikomponenttista vedeneristemassaa, tiivistys ei peittänyt koko liittymää, siitä puuttui vahvikenauha, alusta oli puhdistamaton ja epätasainen ja tartuntapinta-ala lattiassa liian pieni.

5.1.6 Kohde F

Kohde F on vuonna 1980 valmistunut kaksikerroksinen betonielementtirunkoinen rakennus. Kohteessa oli tehty ilmavuototiivistyksiä vuosina 2013 ja 2014. Tilojen 11, 12 ja 14 tiivistykset kohdistuivat vain pintarakenteisiin, mutta tilan 13 tiivistykset tehtiin laajemman kosteusvauriokorjauksen yhteydessä, jossa muun muassa lattioiden kaikki pintamateriaalit uusittiin. Tilat valittiin tutkittavaksi käyttäjien toiveesta heidän kokemansa sisäilman laatuongelmiin viittaavan oireilun vuoksi.

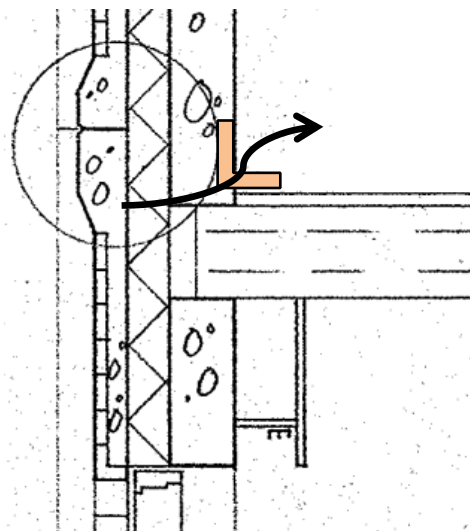
Tilat 11 ja 12, rakenneavaukset 17, 18 ja 19

Tiloissa 11 ja 12 tutkittiin välipohjan ja ulkoseinän liittymiä. Alkuperäispiirros tutkitusta kantavan betonisandwichelementtiulkoseinän ja ontelolaatan liittymästä on esitetty kuvassa 17. Ulkokuorena on tiililaattapintainen betoni ja sisäkuorena betoni. Tilat sijaitsivat toisessa kerroksessa.

Tilan 11 merkkiainetutkimuksen koejärjestely ja tulokset sekä rakenneavauksen sijainti on esitetty liitteen 8 kuvassa 56. Merkkiaineikaasu laskettiin tilaan sisäpuolelta, sillä tila sijaitsi toisessa kerroksessa, ja kaasun laskeminen ulkopuolelta olisi vaatinut telineet. Kaasunlaskukohta tiivistettiin siten, että kaasua ei päässyt sisäilmaan kaasunlaskukohdan kautta. Merkkiainetutkimuksessa havaittiin merkittäviä epätiivelyskohtia ulkoseinän ja välipohjan liittymässä. Rakenneavauksia tehtiin yksi, ja siinä avattiin epätiivis kohta.

Rakenneavauksessa (rakenneavaus 17) poistettiin liittymästä lattialistaa, jolloin saatiin näkyviin lattian vinyylilaattojen ja maalatun seinän liittymään asennettu Codex BST 75 -butyylliteippi (liite 8, kuvat 57–59). Butyylliteippi oli levitetty maalatulle betoniseinälle sekä lattian vinyylilaatoille. Teipin tartuntana oli seinällä vanha maali ja lattiassa ehjä vinyylilaatan pinta. Tiivistyksen asennus seinälle oli tehty oikein, sillä pinnat olivat tasaaiset, teippi oli painettu kiinni kauttaaltaan ja tartuntapinta-ala oli riittävä. Tiivistyksen

asennus lattialle oli sen sijaan tehty väärin, sillä butyyliteippi oli asennettu vinyylilaattojen päälle, jolloin ilmavuodoille on jäänyt reitti butyyliteipin alla oleviin vinyylilaatan saumoihin.



Kuva 17. Tilat 11 ja 12, ulkoseinän ja välipohjan liittymä. Kuvassa myös tiivistyksen sijainti sekä ilmavuotoreitti. Lupa kuvan julkaisuun: Vantaan kaupungin tilakeskus.

Tilan 12 merkkiainetutkimuksen koejärjestely ja tulokset sekä rakenneavausten sijainnit on esitetty liitteen 8 kuvassa 60. Merkkiaineikaasu laskettiin tilaan sisäpuolelta, sillä tila sijaitsi toisessa kerroksessa, ja kaasun laskeminen ulkopuolelta olisi vaatinut telineet. Kaasunlaskukohta saatiin tiivistettyä siten, että kaasua ei päässyt sisäilmaan kaasunlaskukohdan kautta. Merkkiainetutkimuksessa havaittiin merkittäviä epätiiviyyskohtia ulkoseinän ja välipohjan liittymässä. Rakenneavaukset tehtiin kahteen epätiiviseen kohtaan, toinen ulkoseinän ja puhtaaksi muuratun tiiliväliseinän väliseen nurkkaan ja toinen ulkoseinänlinjan suoralle osalle.

Nurkkaan tehdyssä rakenneavauksessa (rakenneavaus 18) poistettiin liittymästä lattialistaa, jolloin saatiin näkyviin betoniulkoseinän, tiiliväliseinän ja lattian liittymään asennettu Codex BST 75 -butyyliteippi (liite 8, kuvat 61–63). Teipin tartunta-alustana oli betoniseinällä vanha maali, tiiliseinällä tasoittamaton tiili ja lattialla osin vinyylilaatta. Teippi ei ulottunut tiiliseinällä lattiaan saakka. Alustapinta ei ollut kaikilta osin tasainen ja kiinteä, teipissä oli ryppyjä ja sen tartuntapinta-ala lattiaan oli olematon. Tiivistys oli irti alustastaan.

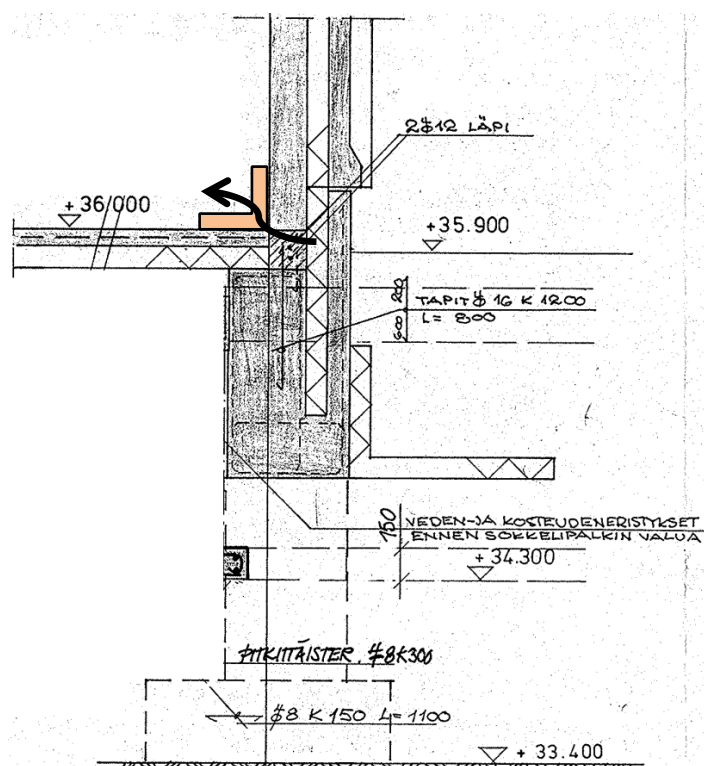
Seinälinjan suoralle osalle tehdyssä rakenneavauksessa (rakenneavaus 19) poistettiin liittymästä lattialistaa, jolloin saatiin näkyviin liittymään asennettu Codex BST 75 -butyyliteippi (liite 8, kuvat 64 ja 65). Teipin tartunta-alustana seinällä oli vanha maali ja lattialla vinyylilaatta. Teippi ei ulottunut liittymän yli lattiaan saakka vaan se oli levitetty lähinnä seinälle. Lisäksi teippi oli kiinnitetty epätiivien vinyylilaattojen pintaan. Tiivistys oli irti alustastaan.

Tila 13, rakenneavaus 20

Tilassa 13 tutkittiin ulkoseinän ja alapohjan liittymää. Alkuperäispiirros tutkitusta kantavan betonisandwichelementtiulkoseinän ja maanvaraisen alapohjan liittymästä on esitetty kuvassa 18. Alapohjalaatta on kiinnitetty valulla sokkelipalkkiin ja ulkoseinäelementtiin.

Merkkiainetutkimuksen koejärjestely ja tulokset sekä rakenneavauksen sijainti on esitetty liitteen 8 kuvassa 66. Merkkiainetutkimuksessa havaittiin merkittäviä epätiivelyskoh-
tia koko ulkoseinän ja alapohjan liittymän alueella. Rakenneavauksia tehtiin yksi, ja
siinä avattiin ulkoseinäliittymää noin kahden metrin matkalta.

Rakenneavauksessa (rakenneavaus 20) poistettiin liittymästä lattialistaa, jolloin saatiin
näkyviin lattian ja ulkoseinän sekä lattian ja tiiliväliseinän liittymään asennettu Codex
BST 75 -butyyliteippi sekä sen päälle levitetty Uzin PE 460, PE 460 New tai PE 480
-epoksinpinnoite (liite 8, kuvat 67–71). Teipin tartuntana oli ulkoseinällä maalattu betoni
ja tiiliväliseinällä maalattu tiili. Butyyliteippi oli lattiassa asennettu vinyylilaattojen alle.
Epoksinpinnoite oli levitetty butyyliteipin päälle. Tiivistys oli irti alustastaan.



Kuva 18. Tila 13, ulkoseinän ja alapohjan liittymä. Kuvassa myös tiivistyksen sijainti
sekä ilmavuotoreitti. Lupa kuvan julkaisuun: Vantaan kaupungin tilakeskus.

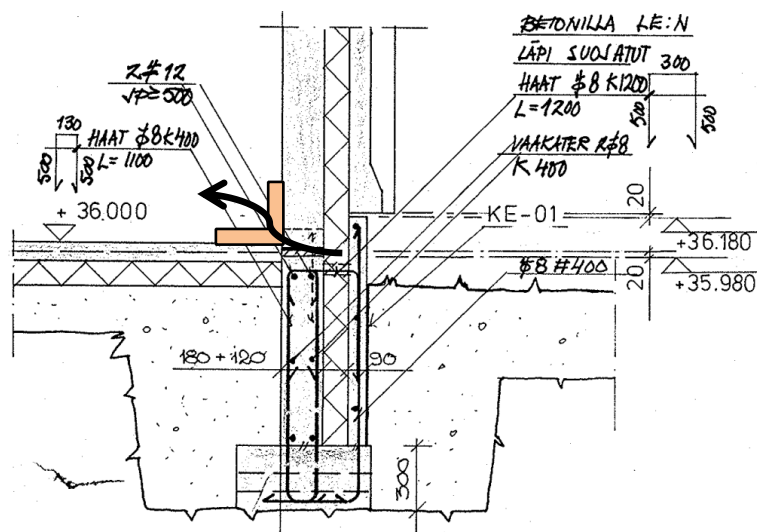
Tila 14, rakenneavaukset 21, 22 ja 23

Tilassa 14 tutkittiin ulkoseinän ja alapohjan liittymää sekä ulkoseinän ja ikkunan liittymiä. Alkuperäispiirros tutkitusta kantavan betonisandwichelementtiulkoseinän ja maanvaraisen alapohjalaatan liittymästä on esitetty kuvassa 19. Tutkittu huonetila on ulkoseinän vasemmalla puolella. Oikealla puolella on pihakansi.

Merkkiainetutkimuksen koejärjestely ja tulokset sekä rakenneavausten sijainnit on esitetty liitteen 8 kuvassa 72. Merkkiainetutkimuksessa havaittiin merkittäviä epätiivelys-
kohtia koko ulkoseinän ja alapohjan liittymän alueella sekä ikkunan ja ulkoseinän liit-
tymässä. Rakenneavauksia tehtiin kolme, ja niissä avattiin sekä tiivis että epätiivis ikku-
nan liittymä sekä ulkoseinälinjaa noin kolmen metrin matkalta.

Seinälinjalle tehdyssä rakenneavauksessa (rakenneavaus 21) poistettiin liittymästä lat-
tialistaa, jolloin saatiin näkyviin lattian ja ulkoseinän sekä lattian ja tiiliväliseinän liit-
tymään asennettu Codex BST 75 -butyyliteippi (liite 8, kuvat 73–76). Teipin tartuntana

oli ulkoseinällä maalattu betoni ja tiiliväliseinällä maalattu tiili. Butyylyliteippi oli lattiasa asennettu vinyylilaattojen päälle, joiden väliset saumat vuotavat. Alustapinnat olivat puhdistamattomat, eikä lattian ja seinän väliin muodostunutta rakoa ollut täytetty tai pintoja tasoitettu. Tiivistys oli irti alustastaan.



Kuva 19. Tila 14, ulkoseinän ja alapohjan liittymä. Kuvassa myös tiivistyksen sijainti sekä ilmavuotoreitti. Lupa kuvan julkaisuun: Vantaan kaupungin tilakeskus.

Tiiviiseen ikkunaliittymään tehdyssä rakenneavauksessa (rakenneavaus 22) poistettiin ikkunan ja seinäelementin väliin asennettuja peitelistoja, jolloin saatiin näkyviin karmien ja ulkoseinän liittymään asennettu Codex BST 75 -butyylyliteippi (liite 8, kuvat 77–79). Teipin tartuntana oli pystysuoralla osalla ulkoseinän osittain maalattu betoni ja vaakasuoralla osalla lasittamaton keraaminen laatta sekä ikkunassa maalattu karmipuu. Ikkunan ja ulkoseinän välinen tila oli täytetty polyuretaanivaahdolla, johon butyylyliteippi oli myös osittain kiinnittynyt. Teippi ei ollut yhtenäinen nurkan kohdalla, eikä siihen ollut tehty kunnollista limitystä. Lisäksi keraamisten laattojen saumoja ei ollut tasoitettu, jolloin butyylyliteipin ja sauman väliin on saattanut jäädä rakoja. Tiivistys olisi paremman tiiviyn varmistamiseksi tullut sijoittaa laattojen alle.

Epätiiviseen ikkunaliittymään tehdyssä rakenneavauksessa (rakenneavaus 23) poistettiin ikkunan ja seinäelementin väliin asennettuja peitelistoja, jolloin saatiin näkyviin karmien ja ulkoseinän liittymään asennettu Codex BST 75 -butyylyliteippi (liite 8, kuvat 80 ja 81). Teipin asennustapa ja tartuntapinnat olivat samat kuin edellä kuvatussa tiiviissä liittymässä: teipin limitykset olivat puutteelliset ja alusta epätasainen.

5.1.7 Kohde G

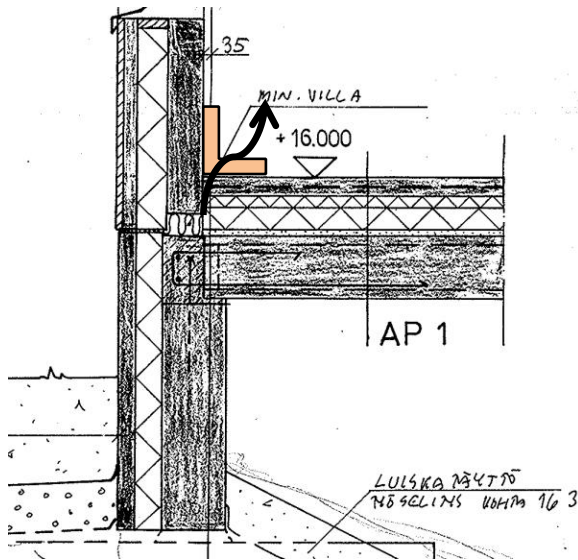
Kohde 1 on vuonna 1991 valmistunut yksi- ja osittain kaksikerroksinen betonielementtirunkoinen rakennus. Kohteeseen oli tehty ilmavuototiivistyksiä kesällä 2013. Kohteesta valittiin tutkittavaksi kaksi huonetta, joista toisessa koettiin sisäilman laatuongelmiin viittaavaa oireilua.

Tilat 15 ja 16, rakenneavaukset 24 ja 25

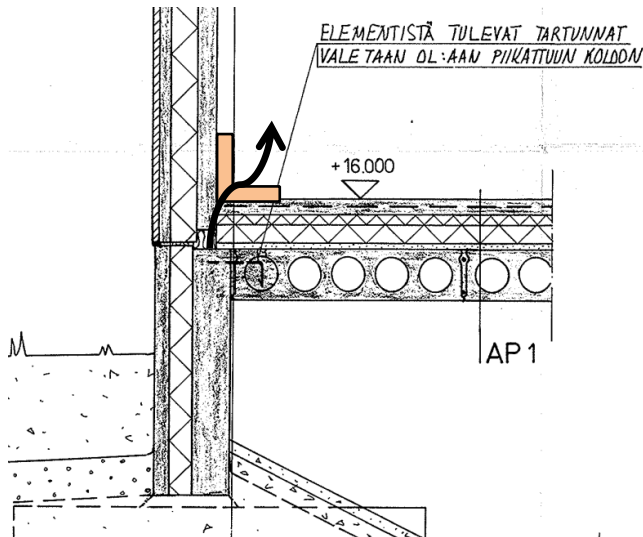
Tiloissa 15 ja 16 tutkittiin alapohjan ja ulkoseinän liittymiä. Alkuperäispiirros tilan 15 liittymästä on esitetty kuvassa 20. Alkuperäispiirros tilan 16 liittymästä on esitetty kuvassa 21. Liittymät eroavat toisistaan ontelolaattojen suunnan ja tuennan osalta. Molemmissa liittymissä ontelolaatat on kiinnitetty valulla sokkelipalkkiin. Ontelolaatan päällä on eristekerros ja pintalaatta. Ulkoseinä on alapohjan tavoin elementtirakentei-

nen. Ulkokuori on tiililaatalla päällystettyä betonia ja sisäkuori betonia. Eristeenä on mineraalivilla. Ulkoseinäelementin kantavan osan ja sokkelipalkin välissä on mineraalivillakaista.

Tilan 15 merkkiainetutkimuksen koejärjestely ja tulokset sekä rakenneavauksen sijainti on esitetty liitteen 9 kuvassa 82. Merkkiainetutkimuksessa havaittiin merkittäviä epätiivelyskohtia koko ulkoseinän ja alapohjan liittymän alueella. Rakenneavauksia tehtiin yksi, ja siinä avattiin ulkoseinäliittymää noin yhden metrin matkalta.



Kuva 20. Tila 15, ulkoseinän ja alapohjan liittymä. Kuvassa myös tiivistyksen sijainti sekä ilmapuotoreitti. Lupa kuvan julkaisuun: Vantaan kaupungin tilakeskus.



Kuva 21. Tila 16, ulkoseinän ja alapohjan liittymä. Kuvassa myös tiivistyksen sijainti sekä ilmapuotoreitti. Lupa kuvan julkaisuun: Vantaan kaupungin tilakeskus.

Rakenneavauksessa (rakenneavaus 24) poistettiin liittymästä lattialistaa, jolloin saatiin näkyviin lattian ja ulkoseinän liittymään asennettu Codex BST 75 -butyyliteippi (liite 9, kuvat 83–85). Teipin tartuntana oli ulkoseinällä osittain maalattu betoni ja lattialla li-noleum-matto. Teipin alla oli myös vanhaa listaliimaa. Butyyliteipin alustapinta oli suu-relta osin epätasainen ja puhdistamaton, eikä teipin tartunta ollut hyvä. Myös tartunta

linoleumiin oli huono, mikä saattaa johtua linoleumin öljypohjaisuudesta. Teippiä ei ollut ulotettu aivan koko ulkoseinäliittymän alueelle.

Tilan 16 merkkiainetutkimuksen koejärjestely ja tulokset sekä rakenneavausten sijainnit on esitetty liitteen 9 kuvassa 86. Merkkiainetutkimuksessa havaittiin merkittäviä epätiivelyskohtia koko ulkoseinän ja alapohjan liittymän alueella. Pieni osa ulkoseinälinjasta todettiin tiiviiksi. Rakenneavauksia tehtiin kaksi, ja niissä avattiin sekä tiivis kohta että epätiivistä liittymää usean metrin matkalta.

Epätiiviseen kohtaan tehdyssä rakenneavauksessa (rakenneavaus 25) poistettiin liittymästä lattialistaa, jolloin saatiin näkyviin lattian ja ulkoseinän liittymään asennettu Codex BST 75 -butyyliteippi (liite 9, kuvat 87–89). Teipin tartuntana oli ulkoseinällä osittain maalattu betoni ja lattialla linoleummatto. Teipin alla oli myös vanhaa listaliimaa. Butyyliteipin alustapinta oli suurelta osin epätasainen ja puhdistamaton, eikä teipin tartunta ollut hyvä. Myös tartunta linoleumiin oli huono, mikä saattaa johtua linoleumin öljypohjaisuudesta. Ulkoseinän ja pintalaatan välissä oli täyttämätön rako. Teippiä ei ollut myöskään ulotettu riittävän laajalle alueelle ulkoseinän ja väliseinän liittymässä.

Tiiviiseen kohtaan tehdyssä rakenneavauksessa (rakenneavaus 26) poistettiin liittymästä lattialistaa, jolloin saatiin näkyviin lattian ja ulkoseinän liittymään asennettu Codex BST 75 -butyyliteippi, joka oli asennettu samoin kuin epätiivissä liittymässä (liite 9, kuvat 90–92). Teipin tartuntapinnat olivat kuten epätiivissä liittymässä osin maalattu betoni, osin vanha liima ja linoleummatto. Butyyliteipin alusta oli rakenneavauksesta 25 tavatun kaltainen eli epätasainen ja puhdistamaton. Teippi ei myöskään ulottunut nurkkaan saakka ja se oli irti alustastaan sekä ryppyinen.

5.2 Tartuntavetolujuusmittausten tulokset

5.2.1 Tartuntavetolujuuksien arvot ja murtotavat

Koonti tartuntavetolujuusmittausten tuloksista on esitetty taulukossa 8. Tulokset on esitetty kokonaisuudessaan liitteen 11 taulukoissa 6, 7 ja 8. Valokuvia koekappaleista ja pinnoitteiden murtotavoista on esitetty liitteen 12 kuvissa 93–125.

Irtivetolaitteen näyttämät eli kunkin materiaaliyhdistelmän neljästä eri vetotestistä saadut vetomurtovoimat muokattiin vastaamaan todellisia arvoja laitteen kalibrointitodistuksen taulukon mukaan (liite 10, taulukko 3). Taulukko kertoo, kuinka paljon mittarin näyttämää pienempi voiman todellinen arvo keskimäärin on kunkin suuruisen voiman tapauksessa. Taulukon mukaisesti mittarin näyttämän ollessa esimerkiksi 0,5 kN on todellinen voima keskimäärin 27,3 % prosenttia näyttämää pienempi. Koska todelliset arvot olivat tiedossa vain 0,5–1 kN:n portain, välin keskelle osuvat todellisen voiman arvot saatiin lineaarisesti interpoloimalla liitteessä 10 esitetyn yhtälön (4) mukaan. Interpolointiyhtälöt on esitetty liitteen 10 taulukossa 4.

Taulukko 8. Koonti tartuntavetolujuuskokeiden tuloksista.

| Kappale | Murtotapa | Vetomurtolujuuksien keskiarvo tai vaihteluväli (MPa) |
|---------|---|--|
| B1A | C 100 % | 0,4 |
| B2A | D 100 % | 0,5 |
| L1A | C 100 % | 0,4 |
| L2A | D 100 % | 0,2 |
| L3A | B/C 40–60 %, C 40–60 % | 0,3 |
| S1A | A 10 %, D 90 % | 0,4 |
| P1A | C 100 % | 0,2...0,5 |
| P2A | D 100 % | 0,3...0,9 |
| P3A | B/C 50 %, C 50 % | 0,1...0,2 ¹⁾ |
| P4A | A/B 100 % | 0,2 |
| M1A | A/B 5 %, C 95 % ²⁾ | 0,4 |
| M2A | A/B 40 %, B 60 % | 0,2 |
| R1A | A/B 5 %, B 95 % | 0,1 |
| B1B | A/B 80–95 %, B 5–20 % | 0,1 |
| B2B | A/B 10 %, B 90 % | 1,3 |
| L1B | A 100 % | 1,7...3,3 |
| L2B | B 100 % | 0,2 |
| L3B | A 95–100 %, A/B 0–5 % | 1,3...2,7 |
| P1B | A 85–95 %, A/B 0–5 %, B/C 0-5 %, C 5–10 % | 2,6 |
| P2B | A/B 95 %, B 5 % | 0,2 |
| P3B | A 25–35 %, A/B 65–75 % ³⁾ | 2,0 |
| M1B | A/B 5–20 %, B 80–95 % | 0,2 |
| M2B | A 0–10 %, A/B 90–100 % | 0,5 |
| B1C | A 100 % | 4,1 |
| P1C | A 100 % | 2,4 |
| M1C | A 100 % | 0,5 |

¹⁾ Hyväksyttyjä mittaustuloksia oli alle kolme, joten murtolujuudelle ei laskettu keskiarvoa.

²⁾ Yhdessä tapauksessa neljästä murtumatyyppi oli A/B 100 %.

³⁾ Yhdessä tapauksessa neljästä murtumatyyppi oli A 80 %, A/B 20 %.

Edellä esitetyn tavan mukaisesti korjatuista vetomurtovoimien arvoista laskettiin tartuntavetolujuuksien arvot yhtälön (2) mukaan jakamalla vetomurtovoima murtopinta-alalla. Vetomurtolujuuksien arvot vaihtelevat butyyliteippien 0,1 MPa:sta epoksinpinnoitteiden vähintään 4,1 MPa:iin. Tartuntavetolujuuksista laskettiin kullekin pinnoiteyhdistelmälle keskiarvo, mikäli tartuntavetolujuuksien vaihteluväli oli 60 % tai vähemmän, ja mikäli hyväksyttyjä mittaustuloksia oli vähintään kolme. Keskiarvot ja vaihteluvälit on esitetty taulukossa 8. Taulukossa on myös esitetty kunkin pinnoiteyhdistelmän murtotapa. Mur-

totavoissa koekappaleissa M1A ja P3B havaittu merkittävä vaihtelu on käsitelty taulukossa erikseen.

Seitsemän kappaleen kohdalla tartuntavetolujuusmittauksia jouduttiin hylkäämään. Tapaukset on eritelty liitteen 12 taulukoissa 6 ja 7. Kappaleiden B2A ja M1B kohdalla vedettävän alueen pinnoite ei ollut leikkautunut kokonaan irti ympäristöstään, jolloin voima jakautui tarkoitettua laajemmalle alueelle, ja mittaus hylättiin. Kappaleessa S1A yhden irtivedon kohdalla vetonastan epäsuoruus aiheutti puutteita liimauksessa siten, että liima ei kaikilta osin kiinnittynyt pinnoitteeseen. Tällöin vetovoima ei kohdistunut koko vetonastan alueelle, ja mittaus hylättiin. Kappaleessa P1A yhden irtivedon kohdalla irtivetolaitetta ei saatu tuettua kunnolla pinnoitettuun kappaleeseen, jolloin veto ei olisi ollut kohtisuora, eikä mittauksia suoritettu. Kappaleen P3A kahden irtivedon ja kappaleen R1A yhden irtivedon kohdalla butyyliteipin murto oli niin elastinen, ettei laitteen mekaniikka tunnistanut sitä, jolloin murtovoimaa ei saatu. Kappaleen M2B yhden vedon kohdalla vetonastan kiinnitys irtivetolaitteeseen epäonnistui, eikä murtovoimaa saatu.

Koekappaletutkimuksiin sisältyivät myös materiaaliyhdistelmät U1A, H1A, H1B ja H2B, joihin liittyviä tuloksia ei ole käsitelty taulukoissa, sillä kappaleille ei tehty tartuntavetolujuuskokeita irtivetolaitteella. Koska muovimattoja ja höyrynsulkumuovia ei saatu liimattua riittävän lujasti millekään jäykälle alustalle, tartuntavetolujuuskoe olisi vaatinut lisälaitteistoa kahdensuuntaisen vetokokeen järjestämistä varten. Pinnoitteiden tartuntaa tutkittiin sen sijaan käsin. Höyrynsulkumuoville ja muovimatolle kiinnitetyt Ardex STB 17-75 - ja Codex BST 75 -butyyliteipit kiinnittyivät alustoille niin hyvin, että ne eivät lähteneet niistä ehjinä irti (liitteen 12 kuvat 107, 108 ja 120). Höyrynsulkumuoville levitetty Blowerproof Liquid Brush -pinnoite sen sijaan irtosi höyrynsulkumuovista helposti (liitteen 12 kuva 121).

Käsin tehtyjä testejä ei voida verrata irtivetolaitteella tehtyihin testeihin, sillä vetovoiman suunta oli poikkeava. Tuloksista voidaan kuitenkin todeta, että butyyliteipin tartunta höyrynsulkumuoviin ja muovimattoon vaikutti samanlaiselta kuin sen tartunta muihin sileisiin pintoihin, esimerkiksi ruostumattomaan teräkseen ja maalattuun puuhun, joista teippi ei myöskään irtivetolaitteessa tehdyssä kokeessa lähtenyt ehjänä irti. Blowerproof Liquid Brushin tartuntaa höyrynsulkumuoviin ei voida pitää hyvänä. Tutkimuksessa huomattiin, että höyrynsulkumuoviin eivät tarttuneet myöskään vetonastojen liimaamiseen käytetyt kaksikomponenttiset epoksiliimat, eikä eräs yksikomponenttinen asennusliima.

Taulukon 8 murtotavat on kuvattu luvussa 4.2.2 esitetyllä standardien SFS-EN 1542 ja SFS-EN ISO 4624 mukaisella tavalla. Alustamateriaalista on käytetty kirjaintunnusta A, ensimmäisestä eli alustaa lähinnä olevasta pinnoitekerroksesta B, toisesta pinnoitekerroksesta C ja niin edelleen. Kahden kerroksen välinen adheesiomurtuma on merkitty jakoviivalla, esim. A/B, mikäli kyse on alustan ja ensimmäisen pinnoitekerroksen välisen tartuntavetolujuuden ylittymisestä. Yksittäisen kerroksen koheesiomurtuma on merkitty ilmoittamalla murtuneen kerroksen kirjain, esim. A, mikäli kyse on alustamateriaalin sisäisestä murrosta. Adheesio- ja koheesiomurtojen suhteelliset osuudet on ilmaistu prosenttein.

5.2.2 Tartuntavetolujuuden arvojen vertailu aikaisempiin pinnoitteille tehtyihin tutkimuksiin

Testatuista pinnoitteista TKR Peruspinnotteesta, TKR Hyytelöstä ja Ardex 8+9-vedeneristemassasta on saatavilla tietoa aiemmista tartuntavetolujuustesteistä. Muista tuotteista dokumentoitua tietoa ei löydetty. Kyseiset tuotteet ovat testatuista pinnoitteista ainoat, joille on olemassa harmonisoitu tuotestandardi ja joille on siten haettu CE-merkintä, minkä yhteydessä tartuntavetolujuusmittaukset on tehty. TKR-pinnoitteiden tartuntavetolujuusmittaukset on tehty betonipinnalle standardin SFS-EN 1542 mukaan ja Ardex 8+9 -vedeneristejärjestelmän mittaukset betonipinnalle standardin SFS-EN 1348 mukaan. Siten ne ovat vertailukelpoisia tässä tutkimuksissa saatujen arvojen kanssa, kun otetaan huomioon, että tässä käytettyä testausasetelmaa on muokattu standardeissa määritellyistä luvusta 4.2.2 esitetyllä tavalla.

Vuonna 2013 päivätyn suoritustasoilmoituksen mukaan Ardex 8+9 -vedeneristemassan alkutartuntalujuus on 28 vuorokauden kuluttua tuotteen levityksestä betonille ollut yli 1,0 MPa. Tämä on linjassa koekappaleesta B1A saatujen tulosten kanssa sikäli, että siinä todettiin vedeneristemassan tartunnan betonipintaan olevan vähintään 0,4 MPa, joka oli koekappaleessa testatun vedeneristemassakerrosten välissä sijainneen vahvikekan-kaan murtolujuus.

TKR-pinnoitteiden tartuntavetolujuus betoniin on vähintään 7 vuorokauden kuluttua tuotteen levityksestä betonille ollut 2,6–5,3 MPa Raatikaisen (Matti Raatikaisen sähköposti 19.3.2015) mukaan. Murtotyyppi on aina ollut 100-prosenttinen betonin koheesiomurto, joten ilmoitetut lujuudet ovat alustana käytetyn betonin vetomurtolujuuksia. Pinnoitteiden tartuntavetolujuudesta voidaan siten päätellä, että se on tätä suurempi. Tämä on linjassa koekappaleesta B1C saatujen tulosten kanssa, joissa murto tapahtui jokaisessa vedossa 100-prosenttisesti betonin koheesiomurtona vetomurtolujuuden ollessa 4,1 MPa.

6 Merkkiainetutkimusten ja tartuntavetolujuustutkimusten tulosten arviointi

6.1 Merkkiainetutkimusten ja rakenneavausten tulosten arviointi

6.1.1 Kohde A

Tila 1, rakenneavaus 1

Tiiviin rakenneliittymän tiivistys oli osittain oikein toteutettu. Vedeneristemassan koostumus oli oikea ja vahvikenauha oli asennettu kerrosten väliin estämään massan halkeilua. Massa oli kuitenkin levitetty seinällä maalattuun, huokoiseen seinätasoihteeseen, joka päästää kaasua lävitseen. Tasoite olisi tullut poistaa, jotta olisi varmistuttu siitä, ettei ilma pääse virtaamaan sen läpi. Tässä tapauksessa rakenneliittymässä ei kuitenkaan todettu vuotoa. Tiivistys oli hyväkuntoinen, eikä siinä ilmennyt halkeamia, irtonaisuutta tai merkkejä ikääntymisestä.

Tila 2, rakenneavaus 2

Epätiiviin rakenneliittymän tiivistys oli väärin toteutettu. Tiivistysmateriaalit olivat hyväkuntoiset ja kiinni alustoissaan, mutta butyyliteippi oli kiinnitetty huokoiseen seinätasoihteeseen, joka päästää kaasua lävitseen. Huokoinen tasoite pilarin pinnasta olisi tullut poistaa ja tiivistys kiinnittää mieluummin suoraan betoniin paremman ilmatiiviyden saavuttamiseksi. Butyyliteipin kiinnittämisellä huokoiseen seinätasoihteeseen oli saavutettu lisäksi vain heikko tartunta. Puinen lattialista oli ollut kiinnitettynä seinään naulojin, jotka ulottuivat kipsilevyn, tiivistyksen ja höyrynsulkumuovin läpi seinän alasidepuuhun. Naulojen aiheuttamat reiät, höyrynsulkumuovin katkos sekä huokoinen tasoite selittävät havaittuja ilmavuotoja. Tiivistys sinänsä oli kuitenkin hyväkuntoinen ja kiinni alustassaan, eikä siinä ollut merkkejä ikääntymisestä.

6.1.2 Kohde B

Tila 3, rakenneavaus 3

Tiiviin liittymän tiivistys oli toteutettu kaikin puolin oikein. Kahden alimman tiilirivin saumat oli ylitasoitettu, jotta vedeneristemassalla ja vahvikekankaalla olisi ollut tasainen alusta. Tiivistys oli hyväkuntoinen, mutta se oli osin irronnut alustastaan. Irtonaisuus johtui kuitenkin todennäköisesti siitä, että tiivistyksen päälle levitetty mattoliima veti tiivistyksen irti mattoa irrotettaessa. Vedeneristemassan koostumus oli oikea ja vahvikenauha oli asennettu kerrosten väliin estämään massan halkeilua.

6.1.3 Kohde C

Tila 4, rakenneavaukset 4 ja 5

Sekä nurkassa sijainneen epätiiviin liittymän (rakenneavaus 4) että suoran seinälinjan tiiviin liittymän (rakenneavaus 5) tiivistysmateriaalit oli asennettu väärin, sillä butyyliteippi oli jäänyt alttiiksi kosteusrasitukselle. Epoksipohjustin olisi tullut levittää myös butyyliteipin alle. Selitys havaitulle ilmavuodolle nurkan epätiiviissä liittymässä on todennäköisesti se, että kipsilevyjen välinen sauma nurkassa oli saumaamaton.

Sekä tiiviissä että epätiiviissä liittymässä butyyliteipin alusta oli tasainen ja teippi oli painettu siihen kiinni huolellisesti. Teipissä ei ollut myöskään ryppyjä. Nurkkaan tehdyssä rakenneavauksessa oli kahden teipin limitys, joka oli valmistajan ohjeistamaa 80 mm vähimmäislimityspituutta lyhyempi. Epoksinnoite oli kuitenkin levitetty molempien teippien yli limityksen päälle, jolloin epätiiveyskohtaa ei ollut muodostunut. Tiivis-

tyksen ongelmakohta oli nurkassa selvästi kipsilevyjen sauma, sillä tiivistys oli muutoin hyväkuntoinen, kiinni alustassaan sekä ehjä. Lisäksi samalla tavoin toteutettu tiivistys suoralla seinälinjalla oli estänyt vuodot koko seinälinjan matkalla.

Tila 5, rakenneavaukset 6 ja 7

Tilassa tutkittiin kahta epätiivistä kohtaa, joissa tiivistysmateriaalien kunto, tartunta ja asennustapa olivat keskenään samanlaiset. Tiivistys oli asennettu väärin, sillä butyyliteippi oli jäänyt alttiiksi kosteusrasitukselle. Epoksipohjustin olisi tullut levittää myös teipin alle, eikä vain sen päälle. Butyyliteippi oli kuitenkin levitetty tasaiselle alustalle ja painettu siihen kiinni huolellisesti. Teipissä ei ollut myöskään ryppyjä. Koska tiivistys oli hyväkuntoinen ja koska kyseessä on levyseinä, jonka levysaumojen sijainti ei ole tiedossa eikä höyrynsulun kuntoa tunneta, on todennäköistä, että vuodot ovat aiheutuneet itsessään epätiivistä seinärakenteesta.

Tila 6, rakenneavaus 8

Tutkitun epätiivin kohdan tiivistysmateriaalien asennus oli tehty väärin. Butyyliteipin asennusalusta oli tasainen, teippi oli työstetty siihen huolellisesti, eikä teipissä ollut ryppejä. Teippiä ei ollut kuitenkaan painettu kiinni aivan huonetilan nurkkaan saakka. Tiivistys nurkassa oli tehty lisäksi muuten samalla tavoin kuin tiivistys nurkasta lähtevällä suoralla seinälinjalla, mutta siinä missä suora linja oli tiivis, nurkka ei ollut. Nurkan vuotoa ei todennäköisesti selitä yläpuolella olevien ikkunoiden liittymien vuotaminen, sillä nämä todettiin merkkiainetutkimuksessa tiiviiksi. Vuoto on aiheutunut todennäköisimmin puutteellisesti tiivistetystä nurkasta. Vuotoa selittää myös se, että nurkkaan asennetut puiset lattialistat oli kiinnitetty nauloin, jotka ulottuivat kipsilevyn ja mahdollisesti sen takana olevan höyrynsulkumuovin läpi. Tiivistys oli hyväkuntoinen ja kiinni alustassaan lukuun ottamatta nurkkaa, johon sitä ei ollut kunnolla painettu.

Tila 7, rakenneavaukset 9 ja 10

Tiiviin liittymän tiivistys (rakenneavaus 9) oli toteutettu väärin, sillä butyyliteippi oli painettu kiinni lasikuituverkkoon, joka ei ollut ilmatiivis eikä tasainen alusta. Butyyliteipin tartunta seinäpintaan ei tästä johtuen ollut hyvä. Butyyliteippi olisi tullut kiinnittää ilmatiiviille ja tasaiselle alustalle. Tiivistysmateriaalit sinänsä olivat hyväkuntoiset.

Myös epätiivin väliseinän liittymän tiivistys (rakenneavaus 10) oli tehty väärin. Butyyliteipin alusta oli huokoinen ja epätasainen sahatavara, eikä teippi ulottunut koko väliseinän liittymän alueelle vaan päättyi lattian päältä alkavaan karmipuuhun, kun sen olisi pitänyt jatkua karmipuun taakse. Butyyliteippi ja epoksinpinnoite olivat ehjät, mutta butyyliteippi oli irti alustastaan ja sen tartunta oli heikko.

6.1.4 Kohde D

Tila 8, rakenneavaus 11

Epätiivin liittymän tiivistys oli toteutettu väärin. Tiivistysmateriaalit oli asennettu epätasaiselle alustalle. Butyyliteipin tartunta erityisesti seinäpinnalla oli huono ja se oli työstetty siihen huolimattomasti siten, että se ei ollut tiilien saumojen kohdalla kunnolla kiinni seinässä, vaan kunkin sauman kohdalle oli jäänyt rako. Vedeneristemassa oli levitetty liian pienelle alueelle sen sijaitessa enimmäkseen butyyliteipin päällä, kun se olisi tullut levittää riittävän paksuna kerroksena myös butyyliteipin reunan yli. Vedeneristemassan koostumus oli lisäksi liian ohut. Tiivistys sinänsä oli hyväkuntoinen.

Alusta olisi tullut tasoittaa ja butyyliteippi liimata kiinni tasaiseen ja ilmatiiviiseen pintaan. Vedeneristemassa olisi tullut levittää butyyliteipin reunojen yli tasoitteelle asti,

jossa se olisi sekä varmistanut reunojen ilmatiiveyden että niiden pysymisen kiinni. Vedeneristemassaa olisi voitu levittää myös butyyliteipin alle.

6.1.5 Kohde E

Tila 9, rakenneavaukset 12 ja 13

Sekä tiiviin liittymän (rakenneavaus 12) että epätiiviin liittymän (rakenneavaus 13) tiivistys oli toteutettu väärin. Tiivistysmateriaalina käytetty butyyliteippi oli kummassakin liittymässä asennettu puhdistamattomille ja tasoittamattomille pinnoille. Butyyliteipissä oli ryppyjä ja sen tartunta oli huono kaikilla pinnoilla. Lisäksi teipin ja lattian välinen tartuntapinta oli liian pieni. Teippiä ei ollut myöskään jatkettu riittävän pitkälle ulkoseinien nurkkiin. Butyyliteippi olisi tullut kiinnittää tasoitetuille pinnoille riittävän laajalle alueelle. Butyyliteippi sinänsä oli hyväkuntoinen.

Vaikka tiivistys oli toteutettu väärin molemmissa liittymissä, vain toinen niistä todettiin epätiiviksi. Tämä johtuu mitä ilmeisimmin siitä, että tiiviin liittymän paikalla valetun betoniseinän ja ulkoseinärakenteen liittymä oli ollut tiivis jo ennen tiivistystä.

Tila 10, rakenneavaukset 14, 15 ja 16

Tilassa tutkittiin kolmea epätiivistä ulkoseinän liittymää. Tiivistysmateriaalit oli asennettu kaikissa avauskohdissa väärin. Osa materiaaleista oli myös vääränlaisia, sillä vedeneristemassa oli yksikomponenttista. Se oli kuivuessaan menettänyt elastisuuttaan niin, että siinä ilmeni halkeamia. Kitti oli epäelastista akryylimassaa. Alustat olivat epätasaiset ja puhdistamattomat. Yksikomponenttinen vedeneristemassa oli levitetty osin sellaisenaan ilman vahvikekangasta alapohjan liittymään. Ikkunan liittymässä olevassa butyyliteipissä oli ryppyjä, ja se oli asennettu liian lyhyin limityksin. Teippi irtosi liittymästä helposti ja sen liima näytti paikoin koskemattomalta, joten sitä ei ollut myöskään painettu kunnolla kiinni. Tiivistykset eivät olleet hyväkuntoiset lukuun ottamatta butyyliteippiä, joka oli ehjä ja toimintakuntoinen, vaikkakaan sitä ei ollut asennettu oikein.

Alustat olisi tullut puhdistaa ja tasoittaa, vedeneristemassana käyttää kaksikomponenttista kutistumatonta massaa ja sen kanssa käyttää vahvikekangasta. Pilarin ja ulkoseinän liittymä oli ikkunan alapuoliselta osin täysin tiivistämätön, ja siinä ilmeni vuotoa. Myös tämä liittymä olisi tullut tiivistää oikein materiaalein, jotta oltaisiin saavutettu tiiviys koko rakenteeseen.

6.1.6 Kohde F

Tila 11, rakenneavaus 17

Epätiiviin liittymän tiivistys oli asennettu väärin. Tiivistyksenä oli betoniseinälle ja lattian vinyylilaatoille kiinnitetty butyyliteippi. Teippi oli painettu huolellisesti tasaiselle alustalle, ja se oli suora sekä rypytön. Ongelmana oli hyväkuntoisen butyyliteipin tiiviyden sijaan todennäköisesti alustamateriaalin tiiviys, sillä vinyylilaattojen väliset saumat eivät ole tiiviit. Täten kaasulla on mahdollisuus kulkeutua epätiivistä liittymästä butyyliteipin alitse laattojen saumaa pitkin sisäilmaan.

Butyyliteippi olisi tullut kiinnittää vinyylilaattojen sijaan niiden alla olevaan ilmatiiviiseen betonipintaan. Butyyliteippiä irrotettaessa havaittiin lisäksi, että se lähti vinyylilaattojen pinnasta lähes ehjänä irti, mistä voidaan päätellä, että alusta on ollut puhdistamaton tai teippi ei muutoin tartu kunnolla vinyylilaattojen pintaan. Vaikka teippi lähti vedettäessä helposti irti, se oli kuitenkin alun perin kiinni alustassa. Butyyliteippi oli

hyväkuntoinen, joten ongelmana on todennäköisesti ollut alustapinnan epätiiviys ja käsittely.

Tila 12, rakenneavaukset 18 ja 19

Kummankin epätiiviin liittymän tiivistys oli tehty väärin. Butyyliteippi oli kiinnitetty tasoittamattomalle ja murenevalle tiilipinnalle sekä epätiiville vinyylilaatoille. Teipissä oli ryppyjä ja sen tartuntaleveys lattiaan oli paikoin vain noin millimetri. Lisäksi asennustapa ja tiiliseinän epätasaisuus mahdollistivat ilman siirtymisen ulkoseinän liittymästä lattian ja tiiliseinän välissä olevaa rakoa pitkin huoneilmaan. Mikäli butyyliteippi olisi kiinnitetty tiiliseinään tiiviisti, rakoa ei olisi ollut. Vuodon syy on todennäköisesti ollut teipin huono tartunta. Lisäksi vuotoa saattaa selittää myös itsessään epätiivis puhtaaksi muurattu tiiliväliseinä, jonka halkeamat ja raot vuotavat ilmaa. Butyyliteippi siinänsä oli hyväkuntoinen.

Butyyliteipin tartuntapinnat olisi tullut tasoittaa ja butyyliteippi kiinnittää epätiiviiden vinyylilaattojen sijaan niiden alla olevaan ilmatiiviiseen betoniin. Lisäksi butyyliteipin riittävä tartuntaleveys olisi tullut huomioida asennusvaiheessa. Puhtaaksi muurattu tiiliseinä olisi tullut tarvittaessa ylitasoittaa ja pinnoittaa.

Tila 13, rakenneavaus 20

Epätiiviin liittymän tiivistys oli tehty väärin. Butyyliteippi oli levitetty tiiliväliseinällä epätasaiselle alustalle, ja teipin ja tiilien saumojen väliin oli jäänyt rakoja. Myös teipin asennus ulkoseinälinjalla oli tehty väärin, sillä vaikka betonipinta siinänsä oli tasainen, siinä oli koloja, jotka ovat saattaneet mahdollistaa ilmavuodot ja joiden kohdalla butyyliteippi jäi irti seinästä. Teipin näkyvissä olevan osan leveys osoitti lisäksi, että teipin tartuntaleveys lattiaan oli pieni. Teipin päällä olevan epoksipinnoitteen tarkoitus oli toimia kosteussulkuna kosteaksi todetulle betonialapohjalaatalle. Pinnoite olisi tullut kuitenkin levittää myös butyyliteipin alle, jolloin se olisi suojannut myös butyyliteippiä kosteusrasitukselta ja parantanut sen tartuntaa alustaan. Pinnat olisi tullut tasoittaa ja kolot tiivistää. Tiivistys oli hyväkuntoinen.

Tila 14, rakenneavaukset 21, 22 ja 23

Epätiiviin lattialiittymän (rakenneavaus 21) tiivistys oli tehty väärin. Butyyliteippi oli asennettu epätasaiselle ja puhdistamattomalle alustalle sekä ulkoseinällä että väliseinällä ulkoseinän nurkassa. Butyyliteippiä irrotettaessa kävi ilmi, että sen liimapinta oli paikoin koskematon, mistä on pääteltävissä, että sitä ei ollut painettu kunnolla kiinni alustaan. Lattialla butyyliteippi oli levitetty vinyylilaattojen päälle. Butyyliteippi olisi tullut kiinnittää vinyylilaattojen alle ilmatiiviiseen betonipintaan paremman tartunnan ja tiiviiden aikaansaamiseksi. Butyyliteipin tartuntapinnat seinillä olisi tullut tasoittaa ja butyyliteippi painaa tasaiseen pintaan huolellisesti kiinni. Teipin riittävästä tartuntaleveydestä olisi lisäksi pitänyt huolehtia. Butyyliteipin kunto oli hyvä.

Myös ikkunoiden ja ulkoseinän liittymän tiivistys oli tehty väärin sekä tiiviissä (rakenneavaus 22) että epätiiviissä (rakenneavaus 23) kohdassa. Tiivistyksen asennustapa oli molemmissa liittymissä samanlainen. Butyyliteippi oli kiinnitetty ikkunassa maalattuun karmipuuhiin, seinällä maalattuun betoniin ja ikkunapenkin kohdalla lasittamattomiin keraamisiin laattoihin. Butyyliteipin tartuntaleveydet näihin alustoihin olivat jääneet liian pieniksi johtuen ikkunankarmin ja ulkoseinän välissä olevan polyuretaanitäytteen raon suuresta leveydestä. Liittymissä oli lisäksi kiinnitetty butyyliteippejä päällekkäin puutteellisin limityspituuksin.

Tiivistyksessä olisi tullut käyttää leveämpää butyyliteippiä, jotta tartuntaleveydet olisi pystytty pitämään riittävinä. Lisäksi teippi olisi tullut kiinnittää keraamisten laattojen sijaan niiden alla olevaan betonipintaan, jotta teipillä olisi ollut tasainen ja ilmatiivis alusta. Tällöin liittymän tiiviys ei olisi perustunut laatoituksen tiiviuteen. Teippiin olisi tullut valmistajan ohjeen mukaan tehdä vähintään 80 mm pituiset limitykset jatkoskohdissa. Butyyliteipin kunto oli hyvä.

6.1.7 Kohde G

Tila 15, rakenneavaus 24

Epätiiviin liittymän tiivistys oli tehty väärin. Butyyliteippi oli kiinnitetty epätasaiselle ja puhdistamattomalle betoniulkoseinälle, jossa oli lisäksi jäänteitä vanhasta listaliimasta. Lattialla teippi oli kiinnitetty linoleumlattiamatolle, johon se ei ollut kiinnittynyt kunnon mahdollisesti linoleumin huokoisuuden ja öljypohjaisuuden vuoksi. Avatussa kohdassa oli myös ulkoseinän ja väliseinän liittymä, jonka yli butyyliteippiä ei oltu viety riittävän pitkälle matkalle. Näin kiinnitystapa mahdollisti butyyliteipin alla kulkevien vuotojen päättymisen huoneilmaan kohdasta, johon teippi päättyi. Butyyliteippi oli hyväkuntoinen.

Teipin alustapinnat olisi tullut tasoittaa ja teippi kiinnittää lattialla linoleummaton alla olevalle betonipinnalle. Lisäksi teippi olisi tullut ulottaa riittävän pitkälle väliseinäliittymän yli.

Tila 16, rakenneavaukset 25 ja 26

Sekä epätiiviin että tiiviin liittymän tiivistys oli tehty väärin. Teippi oli asennettu kuten tilan 15 tiivistyksen tavoin epätasaisen ulkoseinän betonipinnan ja linoleumlattiamaton päälle. Teipin tartunta kummassakin liittymässä oli huono. Lisäksi teippi päättyi kummassakin liittymässä ennen ulkoseinän nurkkaa siten, että se mahdollisti vuodot ulkoseinän nurkasta sisäilmaan. Nurkista toinen on ollut tiivis todennäköisesti jo ennen tiivistysten asennusta, sillä samalla tavoin tehty tiivistys ei ollut sulkenut vuotoja muualla seinälinjalla. Butyyliteipin kunto oli hyvä.

Tiivistys olisi tullut tehdä tasoitetuille pinnoille. Butyyliteippi olisi tullut kiinnittää lattialla linoleummaton alla olevalle betonipinnalle. Lisäksi teippi olisi tullut ulottaa nurkkiin saakka ja niiden yli.

6.1.8 Merkkiainetutkimuksen virheet

Merkkiainetutkimuksessa käsitys rakenteissa olevien ilmapuotojen merkittävyydestä muodostetaan merkkiaineikaasun pitoisuuksien perusteella huomioiden kussakin kohteessa vallinneet olosuhteet ja koejärjestely. Menetelmä on altis virheille, koska merkkiaineikaasun pitoisuuteen vaikuttaa joukko tekijöitä, joista suurta osaa ei pystytä eri tutkimusten välillä vakioimaan. Tällaisia ovat esimerkiksi rakenteen koko, rakenteen eristemateriaali ja tuuliolosuhteet. Jokaisen virhetekijän vaikutusta merkkiaineikaasun pitoisuuteen on tuloksia tulkittaessa arvioitava, jotta päästäisiin käsitykseen siitä, miten suuri vuoto yksittäisessä kohdassa todellisuudessa on. Sitä, miten eri virhetekijät vaikuttavat havaittuun kaasupitoisuuteen ja miten ne tulee ottaa kokeen suorituksessa huomioon, on käsitelty luvussa 4.1.2. Merkittävimmät virhetekijät merkkiainetutkimuksen suorituksessa ovat

- rakenteeseen lasketun merkkiaineikaasun määrä
- kaasua sisältävän tilan ja huonetilan välillä vaikuttava paine-ero
- kaasunlaskukohdan tai -kohtien etäisyys tutkittavasta rakenneliittymästä
- kaasua sisältävän tilan koko, tuulettuvuus ja eristemateriaali

- tuulen puuskaisuus ja tuulen suunnan vaihtelu
- kaasun laskemisesta kulunut aika
- ilmavirtaukset huonetilan puolella.

Tässä tutkimuksessa virhetekijät pyrittiin minimoimaan huolellisen olosuhteiden ja koejärjestelyn arvioinnin lisäksi valitsemalla rakenneavauskohdiksi ne kohdat, joissa vuotoa havaittiin kaikkein vähiten tai kaikkein eniten. Löydökset rakenneavauksista olivat yleensä vuotoon nähden ennakoidun mukaisia, mikä osoittaa, että vuotokohtien arviointi oli näissä kohdissa kohtuullisen onnistunutta.

6.2 Tartuntavetolujuustutkimusten tulosten arviointi

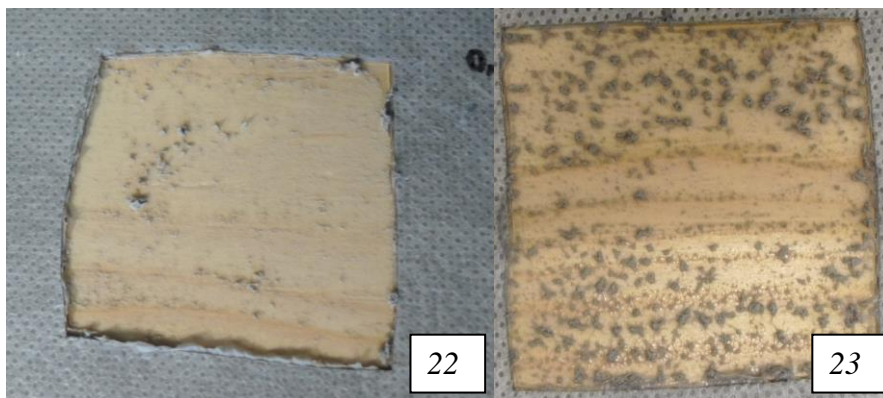
6.2.1 Tartuntavetolujuuksien arvot ja murtotavat

Vetomurtolujuudet olivat suurimmat epoksinpinnoitteiden (TKR-pinnoitteet ja Uzin PE 460 New -pinnoite) ja Blowerproof Liquid Brush -pinnoitteen kohdalla. Vetomurtolujuudet vaihtelivat välillä 0,5...3,3 MPa riippuen pinnoitteesta ja alustamateriaalista. Suurimmassa osassa näillä pinnoitteilla tehdyistä testeistä murto päättyi alustamateriaalin osittaiseen tai täydelliseen rikkoutumiseen pinnoitteen pysyessä kiinni alustassa. Näissä tapauksissa pinnoitteen tartuntavetolujuuden voidaan siis sanoa olevan vähintään taulukossa 8 ilmoitetun vetomurtolujuuden suuruinen.

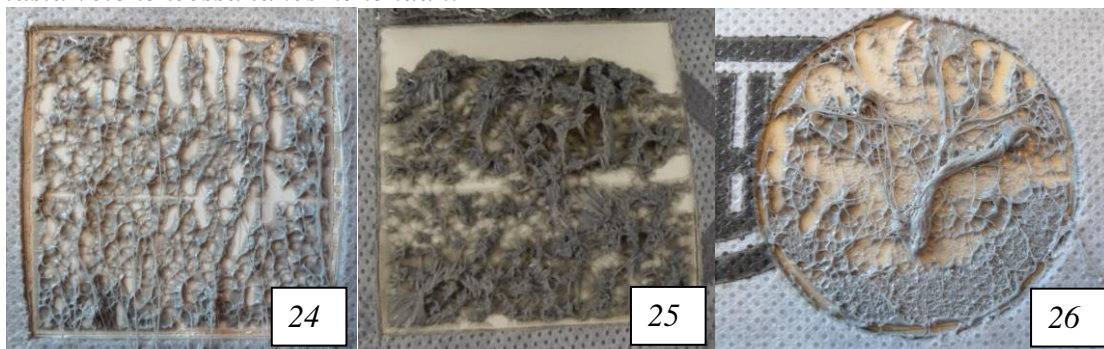
Pienimmät vetomurtolujuuden arvot saavutettiin butyyliteipeillä. Arvot olivat kaikkien alustamateriaalien kohdalla välillä 0,1...0,3 MPa, eikä vetomurtolujuuteen vaikuttanut se, irtosiko butyyliteippi alustasta vai pysyikö se siinä kiinni. Esimerkiksi priimeröidylle sementtipohjaiselle tasoitteelle asennettu butyyliteippi irtosi alustasta 40–60-prosenttisesti saavuttaen vetomurtolujuuden arvon 0,3 MPa, kun taas ruostumattomalle teräkselle asennettu butyyliteippi pysyi alustassa lähes täydellisesti, saavuttaen vetomurtolujuuden arvon 0,1 MPa.

Butyyliteippien kohdalla alustalla havaittiin sen sijaan olevan merkitystä murtotapaan. Butyyliteipin tartunta oli huonoin imukykyisiin ja rosoisiin alustoihin, kuten puuhun ja betoniin, joissa butyyliteippi pysyi vain 0–20-prosenttisesti. Toisaalta toinen butyyliteipeistä pysyi 100-prosenttisesti kiinni priimeröimättömässä lattiatasoitteessa. Toinen butyyliteipeistä pysyi priimeröidyssä lattiatasoitteessa vain 40–60-prosenttisesti. Sileillä ja ei-imukykyisillä alustapinnoilla teippi pysyi parhaiten eli 50–100-prosenttisesti.

Butyyliteipin valmistajan ohjeen mukaan puu tulisi käsitellä maalilla, priimerillä tai muulla tarkoitukseen sopivalla pinnoitteella ennen butyyliteipin kiinnittämistä paremman tartunnan saavuttamiseksi. Vetokokeiden yhteydessä testattiin valmistajan ohjeesta poiketen butyyliteipin tartuntaa käsittelemättömälle, höylätylle puulle. Puun pinta oli teippiä kiinnitettäessä pölytön ja kuiva. Butyyliteipit pysyivät käsittelemättömässä höylätyssä puussa vain 0–5-prosenttisesti (kuvat 22 ja 23), kun taas maalatussa ja priimeröidyssä puussa ne pysyivät huomattavasti paremmin (kuvat 24–26). Tulos osoittaa, että puun pohjustaminen on tärkeää hyvän tartunnan saavuttamiseksi.



Kuvat 22 ja 23. Kuvassa 22 kappale P4A ja kuvassa 23 kappale P2B. Molemmissa butyyliteippi on levitetty priimeröimättömälle puupinnalle. Butyyliteippi on irronnut alustasta vetokokeessa lähes kokonaan.



Kuvat 24, 25 ja 26. Kuvassa 24 kappale M2A, kuvassa 25 kappale M1B ja kuvassa 26 kappale P3A. Kuvissa 24 ja 25 butyyliteippi on levitetty maalatulle puupinnalle ja kuvassa 26 priimeröidylle puupinnalle. Butyyliteipin tartunta alustaan on huomattavasti parempi kuin kuvien 22 ja 23 käsittelemättömillä puupinnoilla.

Vedot, joissa koestettiin vedeneristemassalla ja vahvistusnauhalla tehtyä pinnoitusta, päättyivät aina lähes täydelliseen vahvistusnauhan halkeamiseen (esim. liitteen 12 kuva 93). Vahvistusnauhan kudoksella oletettavasti paremmin nauhan suuntaista rasitusta kuin vetokokeen kaltaista rasitusta. Kuitenkin esimerkiksi lattian ja seinän liittymään tai muuhun kulmaan asennetun nauhan on kestävä myös vetokokeen kaltaista rasitusta. Nauhan koheesiomurtolujuus vetokokeissa oli välillä 0,4...0,5 MPa, mikä on enemmän kuin butyyliteipillä. Tuloksesta voidaan päätellä, että vedeneristemassan tartuntalujuus kaikkiin alustoihin oli vähintään 0,4–0,5 MPa, sillä vedeneriste ei irronnut alustamateriaalista kuin yhdessä vetokokeessa kappaleen M1A kohdalla. Tätä on käsitelty seuraavassa.

Saman pinnoiteyhdistelmän neljässä eri tartuntavetolujuuskokeessa ilmeni joidenkin pinnoiteyhdistelmien kohdalla merkittävää hajontaa murtotavoissa. Tällaisia yhdistelmiä olivat maalatulle puulle levitetty vedeneristemassa (M1A) sekä höylätylle puulle levitetty Blowerproof Liquid Brush -pinnoite (P3B).

Yhdistelmän M1A kolmessa tartuntavetolujuuskokeessa vedeneristemassa pysyi 95-prosenttisesti kiinni maalatussa puussa, mutta yhdessä murroksessa se lähti kokonaan irti. Tätä voi selittää jokin poikkeama alustan tasaisuudessa tai puhtaudessa, pinnoitteen levittämisessä tai vetokokeen suorituksessa. Koska alustan puhdistus, pinnoitukset sekä vetokoe tehtiin kaikkien neljän kohdan kohdalla samalla tavoin, syy poikkeamalle ei ole selvä.

Yhdistelmän P3B kohdalla pinnoite pysyi kolmessa tartuntavetolujuuskokeessa puussa kiinni 25–35-prosenttisesti, mutta yhdessä kokeessa se pysyi siinä paremmin, 80-prosenttisesti. Poikkeamaa voi yhdistelmän M1A poikkeaman tavoin selittää alustan tasaisuuteen ja puhtauteen, pinnoitteen levittämiseen tai tartuntavetolujuuskokeen suoritukseen liittyvät tekijät. Koska näissä ei havaittu olleen poikkeamia, syytä murtotapojen eroavuuteen ei saatu selville.

7 Johtopäätökset

7.1 Tulokset koottuna

Keskeiset havainnot vanhojen tiivistysten kunnosta on koottu taulukkoon 9 ja keskeiset havainnot tartuntavetolujuuskokeiden tuloksista taulukkoon 10.

Taulukko 9. Tutkittujen rakenneliittymien tiiviys, tiivistysmateriaalin asennuksen oikeaoppisuus ja laatu sekä tiivistyksen ikä vuosina.

| Tutkitun liittymän numero | Tiivis | Tiivistyksen laatu | Tiivistyksen ikä |
|---------------------------|--------|---|------------------|
| 1 | kyllä | osittain oikein tehty, kiinni alustassaan | 2,5 v. |
| 2 | ei | väärin tehty, kiinni alustassaan | 2,5 v. |
| 3 | kyllä | oikein tehty, kiinni alustassaan | 3 v. |
| 4 | ei | väärin tehty, kiinni alustassaan | 3,5 v. |
| 5 | kyllä | väärin tehty, kiinni alustassaan | 3,5 v. |
| 6 | ei | väärin tehty, kiinni alustassaan | 3,5 v. |
| 7 | ei | väärin tehty, kiinni alustassaan | 3,5 v. |
| 8 | ei | väärin tehty, irti alustastaan | 3,5 v. |
| 9 | kyllä | väärin tehty, irti alustastaan | 3,5 v. |
| 10 | ei | väärin tehty, irti alustastaan | 3,5 v. |
| 11 | ei | väärin tehty, irti alustastaan | 2,5 v. |
| 12 | kyllä | väärin tehty, irti alustastaan | 0,5 v. |
| 13 | ei | väärin tehty, irti alustastaan | 0,5 v. |
| 14 | ei | väärin tehty, irti alustastaan | 3,5 v. |
| 15 | ei | väärin tehty, irti alustastaan | 3,5 v. |
| 16 | ei | väärin tehty, irti alustastaan | 3,5 v. |
| 17 | ei | väärin tehty, kiinni alustassaan | 1 v. |
| 18 | ei | väärin tehty, irti alustastaan | - ¹⁾ |
| 19 | ei | väärin tehty, irti alustastaan | - ¹⁾ |
| 20 | ei | väärin tehty, irti alustastaan | 1,5 v. |
| 21 | ei | väärin tehty, irti alustastaan | 1,5 v. |
| 22 | kyllä | väärin tehty, kiinni alustassaan | 1,5 v. |
| 23 | ei | väärin tehty, kiinni alustassaan | 1,5 v. |
| 24 | ei | väärin tehty, irti alustastaan | 1,5 v. |
| 25 | ei | väärin tehty, irti alustastaan | 1,5 v. |
| 26 | kyllä | väärin tehty, irti alustastaan | 1,5 v. |

¹⁾ Tarkkaa tietoa tiivistysten iästä ei ole saatavilla. Todennäköinen ikä on 1–3 vuotta.

Taulukko 10. Tiivistysten murtumatyypit jaolla ei irronnut alustasta, irtosi alle 50-prosenttisesti ja irtosi yli tai tasan 50-prosenttisesti.

| Tiivistyksen irtoaminen alustasta tartuntavetolujuuskokeessa | Kappaleet |
|--|--|
| ei irronnut | B1A, B2A, L1A, L2A, S1A, P1A, P2A, L1B, L2B, B1C, P1C, M1C |
| irtosi alle 50-prosenttisesti | M1A, M2A, R1A, L3B, P1B, M1B |
| irtosi yli tai tasan 50-prosenttisesti | L3A, P3A, P4A, B1B, B2B, P2B, P3B, M2B |

Vanhoista tiivistyksistä voidaan taulukon 9 perusteella todeta seuraavaa:

- väärin toteutettujen tiivistysten osuus on suuri, 92 %
- kaikista tutkituista rakenneliittymistä 74 % on ollut epätiiviiä
- kaikista tutkituista tiivistyksistä 62 % on ollut irti alustastaan
- väärin toteutetuista tiivistyksistä 67 % on ollut irti alustastaan
- kaikki väärin toteutetut tiivistykset eivät ole olleet epätiiviiä

Tartuntavetolujuustutkimusten tuloksista puolestaan voidaan taulukon 10 ja liitteen 11 taulukoiden 5, 6 ja 7 perusteella todeta seuraavaa:

- kaikkien tiivistysmateriaalien kohdalla alustaan saavutettu tartunta oli merkittävästi parempi kuin vanhoissa, väärin toteutetuissa tiivistyksissä
- vain kahdessa tapauksessa tiivistysmateriaalien valmistajien ohjeiden mukaan tehty tiivistys lähti alustastaan ehjänä irti.

Seuraavassa käsitellään havaintoja tarkemmin sekä esitetään niistä johtopäätökset.

Väärin toteutettujen tiivistysten osuus

Väärin toteutettujen tiivistysten osuus oli huomattavan suuri, 92 %. Tutkittavien tilojen valintatapa saattoi kuitenkin lisätä väärin toteutettujen ja epätiiviiiden tiivistysten suhteellista osuutta, sillä tutkittaviksi valituista tiloista useat olivat sellaisia, joissa niiden käyttäjät kokivat edelleen sisäilman laatupuutteisiin viittaavaa oireilua.

Väärin toteutetuiksi laskettiin kaikki sellaiset tiivistykset, joiden toteutuksessa oli tehty yksi tai useampi seuraavista virheistä:

- a. tiivistysmateriaali oli asennettu alustalle, joka oli epätasainen tai jossa oli tartuntaa heikentäviä pinnoitteita tai likaa (esimerkiksi listaliiman jäänteitä, pölyä, rasvaa, likaa tai irtonaisia kappaleita)
- b. tiivistysmateriaali oli asennettu alustalle, joka ei ollut ilmatiivis (esimerkiksi maalattu huokoinen seinätaasoite tai kahden kipsilevyn välinen saumaamaton sauma)
- c. tiivistysmateriaali oli tiivistämiseen sopimaton (kuivuessaan halkeileva, yksikomponenttinen vedeneriste, akryylipohjainen saumausmassa tai väärillä seossuhteilla sekoitettu kaksikomponenttinen vedeneristemassa)
- d. butyyliteippi oli asennettu huolimattomasti (butyyliteippi oli esimerkiksi jäänyt ryppyiseksi, teippiä ei ollut painettu kunnolla kiinni alustaan tai kahden teipinpalan välinen limityspituus oli valmistajan suosittelemaa pituutta lyhyempi)
- e. tiivistysmateriaalin tartuntapinta-ala alustaan oli liian pieni (esimerkiksi butyyliteipillä vain pari millimetriä)
- f. tiivistysmateriaali oli asennettu väärään paikkaan tai liian pienelle alueelle (esimerkiksi butyyliteippi ei ulottunut lattialinjalla nurkkaan saakka)
- g. butyyliteippi oli asennettu alustalle, jonka pintaan nousee kosteutta.

Toteutusvirheiden toistuminen on esitetty taulukossa 11. Taulukosta nähdään, että yleisin toteutusvirhe oli tiivistyksen asentaminen epätasaiselle tai puhdistamattomalle alustalle. Kaikista väärin toteutetuista tiivistyksistä tällaisia oli 67 %.

Taulukko 11. Tiivistysten toteutusvirheiden toistuminen.

| Toteutusvirhe | Tiivistykset, joissa virhe ilmeni/ kaikki väärin toteutetut tiivistykset | Toteutusvirheen yleisyys |
|---------------|---|-----------------------------|
| a. | 16/24 | 67 % |
| b. | 10/ 24 | 42 % |
| c. | 5/24 | 21 % |
| d. | 11/24 | 46 % |
| e. | 7/24 | 29 % |
| f. | 7/24 | 29 % |
| g. | 5/24 | 21 % |

Epätiiviiden rakenneliittymien osuus

Suurin osa rakenneliittymistä, 74 %, oli epätiiviitä. Tutkittavien tilojen valintatapa saat- toi kuitenkin lisätä epätiiviiden tiivistysten suhteellista osuutta samalla tavoin kuin vää- rin toteutettujen tiivistysten osuutta, sillä tutkittaviksi valituista tiloista useat olivat sel- laisia, joissa niiden käyttäjät kokivat edelleen sisäilman laatupuutteisiin viittaavaa oirei- lua.

Alustastaan irti olevien tiivistysten osuus

Alustastaan irti oleva tiivistys ei voi tehdä rakenneliittymää tiiviiksi, sillä tällöin ilmalla on virtausreitti tiivistyksen ja alustapinnan välissä. Mikäli liittymä, jossa on alustasta irti oleva tiivistys, osoittautuu tiiviiksi, on tiiviyn syyn oltava joko tiivistyksen päällä olevat tiiviit ainekerrokset tai se, että liittymä on ollut tiivis jo ennen tiivistystä. Alustas- taan irti oleviksi laskettiin kaikki sellaiset tiivistykset, joista pienikin osa oli irti alustas- taan. Näitä olivat myös sellaiset tiivistykset, joissa butyyliteipin alla olevassa pinnassa oli koloja (kuten rakenneavauksissa 11 ja 20).

Tiivistyksen irtonaisuus alustasta korreloi tuloksissa jonkin verran tiivistysten epätiiviy- den kanssa. Korrelaatio ei ole täydellistä, sillä myös jotkin irti alustastaan olevat tiivis- tykset olivat tiiviitä. Tämä johtuu siitä, että tiivistykset on asennettu mahdollisesti jo valmiiksi tiiviiseen rakenneliittymään. Tätä on selvennetty myöhemmässä kohdassa "Väärin toteutettujen liittymien tiiviys".

Myöskään kaikki kiinni alustassaan olevat tiivistykset eivät tehneet rakenneliittymästä tiiviitä. Tämä taas johtuu siitä, että nämä tiivistykset oli kiinnitetty epätiiviille pinnoille.

Väärin toteutettujen tiivistysten irtonaisuus alustasta

Väärin toteutetuista tiivistyksistä 67 % oli irti alustastaan. Väärin toteutettujen joukossa oli kuitenkin paljon tiivistyksiä, joissa toteutusvirhe johtui esimerkiksi materiaalin vää- rästä käytöstä tai asennuksesta epätiiviille alustalle. Niistä tiivistyksistä, jotka oli levitet- ty puhdistamattomalle tai epätasaiselle alustalle, 88 % oli irti alustasta. Vain 12 % oli pysynyt kiinni alustassaan, joten voidaan todeta, että alustan käsittelyn laiminlyöminen johtaa suurella todennäköisyydellä tiivistyksen irtoamiseen alustasta ja siten epätiiviy- teen.

Väärin toteutettujen liittymien tiiviys

Taulukon mukainen rakenneliittymän tiiviys ei välttämättä tarkoita *tiivistyksen* tiiviyttä, sillä on mahdollista, että rakenneliittymä on ollut tiivis jo ennen tiivistystä. Tällöin ra- kenneliittymässä oleva tiivistys vaikuttaa aina tiiviiltä riippumatta siitä, onko se. Tämä aiheuttaa epävarmuuden tulosten tulkintaan.

Rakenneliittymien 12 ja 26 voidaan todeta olleen kohtuullisella todennäköisyydellä jo valmiiksi tiiviit, sillä niissä olleet tiivistykset olivat silminnähden huonokuntoiset ja irti alustastaan. Rakenneliittymän 5 kohdalla puolestaan on mahdollista, että liittymän tiiviys on tiivistyksen ansiota siitä huolimatta, että tiivistys oli väärin toteutettu. Tässä liittymässä tiivistys oli nimittäin hyväkuntoinen ja hyvin kiinni alustassaan. Tiivistys luokiteltiin väärin tehdyksi sen vuoksi, että butyyliteipin alle ei ollut levitetty epoksipohjustinta alustassa, jonka suhteellinen kosteus oli todettu korkeaksi. Tilanne on samanlainen liittymän 9 kohdalla sillä poikkeuksella, että liittymässä 9 butyyliteippi oli hieman irti alustastaan. Toisaalta liittymien 5 ja 9 tiivistyksen kanssa samanlainen tiivistys samassa rakennuksessa ei sulkenut vuotoja rakenneliittymän 7 kohdalla.

Rakenneliittymän 22 kohdalla liittymän tiiviys oli todennäköisesti tiivistyksen ansiota, vaikka tiivistys olikin väärin tehty. Tämä johtuu siitä, että kyseessä oli ikkunan ja ulkoseinän polyuretaanivaahdolla täytetty liittymä, jossa polyuretaanin kovettunut pinta oli leikattu. Koska leikattu polyuretaanivahtokerros ei ole ilmatiivis (Lahdensivu ym. 2012, s. 18), tiivistys on todennäköisesti tehnyt liittymästä ilmatiiviin.

Rakenneliittymien 1 ja 3 kohdalla tulkinta on vaikeaa. Jotta tiivistysten voitaisiin todeta olleen tiiviit, täytyisi rakenneliittymän epätiiviyydestä ilman tiivistystä olla ensin varmuus. Rakenneliittymän 3 tiivistyksen erittäin hyvän kunnon ja alustassa kiinni oleminen vuoksi voidaan kuitenkin pitää kohtuullisen todennäköisenä sitä, että tiivistys oli tarkasteluhetkellä tiivis. Rakenneliittymän 5 kohdalla on mahdollista, että tiivistys ei ole tehnyt liittymästä ilmatiivistä, sillä tiivistys oli kiinnitetty huokoisen seinätasoitteen pintaan, joka päästää kaasua lävitseen.

Tartuntavetolujuusmittauksissa saavutettu tartunta alustaan

Tartuntavetolujuuskokeiden keskeiset tulokset on koottu taulukkoon 10. Taulukossa on lueteltu ryhmittäin pinnoitukset, jotka eivät tartuntavetolujuuskokeessa irronneet alustastaan, pinnoitukset, jotka irtosivat alle 50-prosenttisesti sekä pinnoitukset, jotka irtosivat yli tai tasan 50-prosenttisesti.

Suurin osa tiivistyksistä pysyi 100-prosenttisesti kiinni alustassaan, ja liki neljänneskin yli 50-prosenttisesti. Lisäksi niidenkin tiivistysten kohdalla, jotka irtosivat alustastaan, tartuntavetolujuudet olivat yhtä hyvällä tasolla kuin alustassaan kiinni pysyneiden tiivistysten. Voidaan siis todeta, että kaikilla tiivistysmateriaaleilla saavutettiin huomattavasti parempi tartunta alustaan kuin mitä tutkituilla vanhoilla, väärin tehdyillä tiivistyksillä oli.

Tiivistysmateriaalin pysyminen kiinni alustassaan

Vain kahdessa tiivistysmateriaalien valmistajien ohjeiden mukaan tehdyssä pinnoituksessa tiivistysmateriaali lähti alustastaan ehjänä irti. Nämä kappaleet olivat kappale M1A (maalatulle puulle levitetty Ardex 8+9 -vedeneristemassa) ja M2B (maalatulle puulle levitetty Blowerproof Liquid Brush -muovipinnoite).

Kummankin kappaleen kohdalla mainittu tiivistyksen ja alustan välinen täydellinen adheesiomurto tapahtui vain yhdessä neljästä irtivedosta. Kappaleen M1A kohdalla se vaikutti olevan yksittäistapaus, sillä muissa kolmessa irtivedossa tiivistysmateriaali pysyi alustassa kiinni 95–100-prosenttisesti. Kappaleen M2B kohdalla tiivistysmateriaali puolestaan irtosi muissakin irtivedossa 90–95-prosenttisesti, mutta tässä taas on huomattava, että vetomurtolujuudet olivat melko suuria, 0,5–0,6 MPa.

Kaikissa muissa tiivistysmateriaalien valmistajien ohjeiden mukaan tehdyissä pinnoituksissa tiivistysmateriaali ei siis lähtenyt alustasta ehjänä irti. Havainto on tärkeä, sillä se antaa perusteet yksinkertaiselle laatuvaatimukselle: tiivistysmateriaalin ei ainakaan vasta asennettuna kuulu lähteä alustastaan ehjänä irti.

7.2 Päätelmät

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, millaista pitkäaikaiskestävyyttä tiivistyksiltä voidaan odottaa. Lisäksi tavoitteena oli selvittää, miten toteutustavalla voitaisiin vaikuttaa siihen, että tiivistykset kestäisivät ilmatiiviinä mahdollisimman pitkään.

Tutkimuksen perusteella ei voida tehdä tiivistysten pitkäaikaiskestävyydestä pitkälle meneviä päätelmiä. Täysin oikein toteutettuja tiivistyksiä löydettiin vain yksi, ja sen ikä oli 3 vuotta. Olettaen, että kyseinen rakenneliittymä olisi ollut ilman tiivistystä epätiivis, voidaan todeta, että tietyissä olosuhteissa ja tietyillä materiaaleilla tiiviys on mahdollista saavuttaa ainakin kolmen vuoden ajaksi. Tiivistysmateriaalien kunto oli lisäksi moitteeton, eikä liittymässä mikään viitannut siihen, että tiivistyksen käyttöikä olisi ollut lähiaikoina kulumassa loppuun.

Kuten jo edellä on todettu, tiivistysmateriaalin tartunta alustaan on ehdoton edellytys tiivistyksen pitkäaikaiskestävyydelle. Vain alustassaan kiinni oleva tiivistys voi olla tiivis, ja vain alustassaan kiinni oleva tiivistys voi myödetä rakenteiden liikehtiessä. Molemmat ominaisuudet ovat tiivistyksen toiminnan kannalta välttämättömiä. Koska kaikki oikein tai osittain oikein tehdyt tiivistykset olivat kiinni alustassaan ja väärin toteutetuista 24 tiivistyksestä 16 oli irti alustastaan, voidaan todeta, että oikealla toteutuksella on suuri merkitys tiivistyksen pitkäaikaiskestävyydelle. Tätä havaintoa tukevat myös tartuntavetolujuskokeiden tulokset. Ne osoittavat, että tässä tutkituilla materiaaleilla voidaan ainakin heti niiden asennuksen jälkeen odottaa huomattavasti parempaa tartuntaa alustaan kuin mitä tutkituilla vanhoilla, väärin toteutetuilla tiivistyksillä oli.

Tutkimuksessa ei tutkittu vanhojen tiivistysten tartuntaa alustaan irtivetolaitteella, joten näiden tiivistysten ja koekappaleille tehtyjen pinnoitusten tartuntavetolujuuksien arvoja ei voida vertailla. Tämä ei ollut kuitenkaan tarpeellista, sillä useimmista väärin tehdyistä tiivistyksistä havaittiin jo aistinvaraisella tarkastelulla, että ne olivat huonosti kiinni alustassaan. Tämä ilmeni joko siten, että tiivistys oli jo valmiiksi irti, tai siten, että tiivistys lähti vedettäessä helposti irti.

Tartuntavetolujuskokeiden tulosten perusteella tiivistyksen tartunnan aistinvarainen tarkastelu olisi työmaalla hyödyllinen laadunvarmistustoimenpide: tiivistysten ei pääsääntöisesti kuulu lähteä käsin vetämällä ehjänä irti.

Näiden tulosten valossa voidaan todeta, että alustan käsittelyllä on suuri vaikutus tiivistyksen pitkäaikaiskestävyydelle. Paras tartunta ja siten todennäköisesti paras pitkäaikaiskestävyys tiivistyksille saavutetaan noudattamalla tiivistysmateriaalien valmistajan ohjeita alustan valmistelussa ja tiivistysmateriaalien asennuksessa. Tämän vuoksi alustan valmistelun tarkastaminen ennen tiivistysmateriaalien asennusta on myös laadunvarmistustoimenpiteenä perusteltu. Kun huolellisen suunnittelun ja valmistelun lisäksi tiivistysmateriaalien asennus tehdään oikein ja niiden tiiviys varmistetaan merkiainekokein, voidaan lopputuloksesta odottaa kestävää.

Tutkimuksen perusteella voidaan tehdä myös joitakin lisähuomioita tiivistysten pitkäaikaiskestävyyteen ja tartuntaan liittyen. Tiivistysmateriaalit olivat kaikissa liittymissä

hyväkuntoiset lukuun ottamatta yksikomponenttista vedeneristemassaa, joka oli väärä tuote kuivien tilojen ilmapuototiivistykseen, sillä se kutistui ja halkeili kuivuessaan. Muut tiivistysmateriaalit olivat hyväkuntoisia ja ehjiä. Butyyliteipin butyylimassa ei ollut yhdessäkään tiivistyksessä kuivunut tai vaikuttanut muutoin menettäneen tartuntaominaisuuksiaan. Tiivistysmateriaalin hyväkuntoisuus on tärkeä havainto, sillä se osoittaa, että erityishuomio tulee kiinnittää tiivistysmateriaalin ja alustan välisen hyvän tartunnan saavuttamiseen – viitteitä siitä, että tiivistysmateriaalit itsessään alkaisivat ajan mittaan vuotaa, ei ole.

Tiivistysten asennustavoissa havaittiin merkittäviä puutteita. Etenkin butyylitarranauhohen kohdalla havaittiin, että niitä ei ollut painettu asennusvaiheessa kunnolla kiinni alustaan, sillä niiden irti alustastaan olevat liimapinnat olivat paikoin koskemattomat. Lisäksi alustapinnat olivat usein puhdistamattomat ja rosoiset, ja butyylitarranauhoihin oli jäänyt ryppejä. Useissa tapauksessa butyyliteippiin oli sen alle jääneiden epätasaisuuksien tai huolimattoman asennuksen vuoksi muodostunut jännityksiä, jotka aiheuttavat teipin venymistä ja edelleen sen irtoamista alustasta. Joidenkin tiivistysten kohdalla näytti siltä, ettei niiden tekijä ollut ymmärtänyt, mitä tiivistyksellä on tarkoitus saavuttaa, mikä osoittaa, että tiivistykset voivat epäonnistua myös tiedonkulun puutteen ja ymmärtämättömyyden vuoksi.

Tiivistyksen epätiiviyden ja iän välillä ei havaittu korrelaatiota: epätiivit tiivistykset olivat keskimäärin 2,5 vuoden ikäisiä ja tiiviit tiivistykset 2,3 vuoden ikäisiä.

Rakenneavauskohdista vain kahteen (rakenneavaukset 17 ja 20) oli ennen tätä tutkimusta tehty merkkiainekoe. Vuodot olivat aiempaan merkkiainekokeeseen nähden lisääntyneet, mutta tätä selittää todennäköisesti se, että myös tiivistykset oli alun perin väärin toteutettu. Tiiviiden tiivistysten osuus otannassa olisi saattanut olla suurempi, mikäli niiden tiiviys olisi aikoinaan varmistettu merkkiainekokein. Nyt tutkituista tiivistyksistä suuri osa vaikutti siltä, etteivät ne olleet olleet tiiviitä alun perinkään.

Koska tutkimuksessa löydettiin vain yksi oikein toteutettu tiivistys, ei oikein toteutettujen tiivistysten pitkäaikaiskestävyyttä voitu yleisellä tasolla arvioida. Tutkimuksen tavoite ei tältä osin täytynyt. Voitiin todeta, että tietyissä olosuhteissa ja tietyillä materiaaleilla tiiviys on mahdollista saavuttaa vähintään kolmen vuoden ajaksi.

Tutkimustietoa etenkin oikeaoppisesti toteutettujen tiivistysten pitkäaikaiskestävyydestä tarvitaan lisää. Tietoa tarvitaan muun muassa siitä, onko eri tiivistysmateriaalien välillä eroja tiivistysten pitkäaikaiskestävyydessä. Lisäksi tietoa tarvitaan siitä, miten toteutustavan ohella tiivistysten pitkäaikaiskestävyyteen vaikuttavat tekijät tulisi huomioida, jotta tiivistykset kestäisivät mahdollisimman pitkään. Tässä tutkimuksessa tutkittiin 0,5–3,5 vuotta vanhoja tiivistyksiä, koska tätä vanhempia oli aineiston tarjonnalla Vantaan kaupungilla huonosti saatavilla. Myös tätä vanhempien tiivistysten nykykunnosta tarvitaan lisää tietoa.

7.3 Teknisesti laadukkaan tiivistyksen toteutus

Aikaisemman tiedon ja edellä esitettyjen tulosten perusteella voidaan todeta, että seuraavat asiat ovat tärkeitä teknisesti laadukkaan ja kestävästi tiivistyksen toteutuksessa:

- Korjaushankkeen eri osapuolten välinen vastuunjako on selvä. Toimintatavoista on sovittu etukäteen, ja niitä noudatetaan.

- Käytettävät tiivistysmateriaalit, alustan valmisteluun liittyvät toimenpiteet ja tiivistysmateriaalien asennustapa esitetään korjaussuunnitelmissa yksityiskohtaisesti.
- Alustan valmistelussa ja tiivistysmateriaalin asennustavassa noudatetaan tiivistysmateriaalin valmistajan ohjeita.
- Työn toteuttaja tuntee korjaussuunnitelman ja ymmärtää sen noudattamisen merkityksen korjauksen onnistumiselle.
- Pohjatöiden oikeaoppisuus eli alustan tasaisuus ja puhtaus tarkistetaan ennen tiivistysmateriaalien asennusta. Tällä varmistetaan, että saavutettava ilmatiiviys on pitkäaikainen.
- Tiivistyksen tiiviys tarkastetaan merkkiainekokeella. Tällä varmistetaan, että ilmatiiviys on saavutettu.
- Tiivistysten päälle tulevat pintarakenteet asennetaan siten, että ne eivät vahingoita tiivistyksiä tai aiheuta niille ylimääräistä rasitusta.

Lähdeluettelo

Aalto, M. & Asikainen, V. & Hakkarainen, H. & Jerkku, I. & Jumpponen, M. & Kalamies, T. & Kanerva, P. & Kettunen, A.-V. & Kurnitski, J. & Pasanen, P. & Peltola, S. & Pirinen, J. & Puhakka, E. & Ripatti, H. 2008. Sisäilmaongelmaisten koulurakennusten korjaaminen. Asikainen, V. (toim.) & Peltola, S. (toim.). Helsinki: Opetushallitus. 247 s. ISBN 978-952-13-3851-9.

Aga. 2013. Rikkiheksafluoridin käyttöturvallisuustiedote. [Viitattu 27.8.2015.] Saatavissa: http://www.aga.fi/internet.lg.lg.fin/fi/images/rikkiheksafluoridi634_120177.pdf

Aho, H. & Korpi, M. 2009. Ilmanpitävien rakenteiden ja liitosten toteutus asuinrakennuksissa. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. 100 s. Tutkimusraportti 141/Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikan laitos. ISBN 978-952-15-2071-6.

Ahonen, J. 2007. Rakenteelliset tiivistykset sisäilmaongelmien korjaamisessa. Artikkelisivulla 109. Säteri, J. (toim.) & Backman, H. (toim.). 2007. Sisäilmastoseminaari 2007: 14.3.2007. Helsinki: SIY Sisäilmatieto Oy. 276 s. SIY raportti 25. ISBN 978-952-5236-32-3.

Airaksinen, M. 2003. Moisture and fungal spore transport in outdoor air-ventilated crawl spaces in a cold climate. Espoo: Teknillinen korkeakoulu. 74 s. ISBN 951-22-6771-3.

Airaksinen, M. & Pasanen, P. & Kurnitski, J. & Seppänen, O. 2003. Hiukkasten ja sienitiöiden kulkeutuminen rakenteiden läpi sisäilmaan. Artikkelisivulla 207. Säteri, J. (toim.) & Backman, H. (toim.). 2003. Sisäilmastoseminaari 2003: 19.–20.3.2003. Helsinki: SIY Sisäilmatieto Oy. 409 s. SIY raportti 19, 1237-1866; 19. ISBN 952-5236-21-8.

Arvela, H. & Holmgren, O. & Reisbacka, H. 2012. Asuntojen radonkorjaaminen. Helsinki: Säteilyturvakeskus. 141 s. ISBN 978-952-478-701-7. [Viitattu 14.8.2015.] Saatavissa: http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/tiivistelmat/a_sarja/fi_FI/stuk-a252/_files/87009790138778914/default/stuk-a252.pdf

Boström, S. 2012. Lähiökerrostalon energiatehokkuusluvun laskenta ja lämmönkulutuksen jakautuminen. Diplomityö. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. 60 s. [Viitattu 8.8.2015.] Saatavissa: <http://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/21328/bostrom.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Çengel, Y. 1998. Heat Transfer: A Practical Approach. Yhdysvallat, Boston (MA): McGraw-Hill. 1006 s. ISBN 0-07-011505-2.

Hintikka, T. 2013. Tiiviysmittaukset sisäilmastoteknisissä selvitystöissä. Insinöörityö. Helsinki: Metropolia Ammattikorkeakoulu. 61 s.

Hometalkoot 2012. Tunnista ja tutki riskirakenne. 109 s. [Viitattu 1.7.2015.] Saatavissa: http://devhometalkoot.mcasiakas.net/filebank/904Tunnista_ja_tutkiriskirakenne2012.pdf

Huttunen, P. 2012. Sisäisen konvektion vaikutus lämmönläpäisykertoimeen huokoisella lämmöneristeellä eristetyissä ulkoseinissä. Luentoaineisto/FRAME: Ulkoseinien sisäinen konvektio, 6.11.2012. Tampereen teknillinen yliopisto. [Viitattu 13.8.2015.] Saatavissa:

<http://www.tut.fi/cs/groups/public/@1102/@web/@p/documents/liit/mdbw/mdm0/~edisp/p034327.pdf>

Hyypöläinen, T. & Pentti, M. 1999. Ulkoseinärakenteiden kosteustekninen suunnittelu. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu. 147 s. Julkaisu/ Tampereen teknillinen korkeakoulu, talonrakennustekniikka, 1237-1483; 94. ISBN 952-15-0173-1.

Jokisalo, J. & Kurnitski, J. & Kalamees, T. & Eskola, L. & Jokiranta, K. 2007. Ilmanpitävyyden vaikutus vuotoilmanvaihtoon ja energiankulutukseen pientaloissa. Artikkelisivulla 241. Säteri, J. (toim.) & Backman, H. (toim.). 2007. Sisäilmastoseminaari 2007: 14.3.2007. Helsinki: SIY Sisäilmatieto Oy. 276 s. SIY raportti 25. ISBN 978-952-5236-32-3.

Kauppa- ja teollisuusministeriö KTM. 1986. Rakennuksen sisäilmaston laatu ja ilmanvaihdon tarve. Helsinki: Kauppa- ja teollisuusministeriö. 239 s. Sarja D; 104. ISBN 951-46-9803-7.

Kauppi, A. 1985. Pientalojen tiiviys ja sen pysyvyys. Forssan asuntomessualue. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 60 s. Tiedotteita/Valtion teknillinen tutkimuskeskus, 0358-5085; 440. ISBN 951-38-2309-1.

Koivisto, J. & Jääskeläinen, E. & Nevalainen, A. & Husman, T. & Meklin, T. & Vahteristo, M. & Heiskala, S. & Forss, P. & Turpeinen, J. & Röning-Jokinen, I. 1996. Asuin-kerrostalojen kosteusvauriot – yleisyyden ja korjauskustannusten selvittäminen. Kuopio: Kansanterveyslaitos, ympäristömikrobiologian laboratorio. 86 s. Kansanterveyslaitoksen julkaisuja B, 0359-3576; 1996, 9. ISBN 951-740-041-1.

Kurnitski, J. 2007. Pientalojen ilmanvaihto ja ilmanpitävyys. Helsinki: Rakennustieto Oy. Rakentajain kalenterin artikkeli sivuilla 415–424. [Viitattu 10.8.2015.] Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK090302.pdf>

Kurnitski, J. 2009. Koulurakennusten sisäilmasto-ongelmien ja kosteusvaurioiden korjaamisen oppaat. Helsinki: Rakennustieto Oy. Rakentajain kalenterin artikkeli sivuilla 455–464. [Viitattu 21.8.2015.] Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK090702.pdf>

Kurnitski, J. & Palonen, J. & Enberg, S. & Ruotsalainen, R. 1996. Koulujen sisäilmasto – rehtorikysely ja sisäilmastomittaukset. Espoo: Teknillinen korkeakoulu. 60 s. ISBN 951-22-3061-5.

Kärkkäinen, J. Haastattelu 11.6.2015. Julkaisematon.

Laamanen, P. & Åström, G. 2013. RIL 107-2012 Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet tähtäävät varmatoimisiin ja vikasietoisiin ratkaisuihin. Artikkelisivulla 189. Säteri, J. (toim.) & Backman, H. (toim.). 2013. Sisäilmastoseminaari 2013: 13.3.2013. Jyväskylä: SIY Sisäilmatieto Oy. 384 s. SIY raportti 31. ISBN 978-952-5236-41-5.

Lahdensivu, J. & Suonketo, J. & Vinha, J. & Lindberg, R. & Manelius, E. & Kuhno, V. & Saastamoinen, K. & Salminen, K. & Lähdesmäki, K. 2012. Matalaenergia- ja passiivitalojen rakenteiden ja liitosten suunnittelu- ja toteutusohjeita. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. Tutkimusraportti 160. 121 s. ISBN 978-952-15-2951-1. [Viitattu 8.8.2015.] Saatavissa:

http://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/21403/matalaenergia-_ja_passiivitalojen_rakenteiden_ja_liitosten_suunnittelu-_ja_toteutusohjeita.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Lahtinen, M. & Salonen, H. & Lappalainen, S. & Salmikivi, T. & Lajunen, K. & Putkinen, E-L. & Huttunen, J. & Reijula, K. "Sairaan rakennuksen" peruskorjaus – haasteena luottamuksen saavuttaminen. Artikkelit sivulla 11. Säteri, J. (toim.) & Backman, H. (toim.). 2008. Sisäilmastoseminaari 2008: 5.3.2008. Helsinki: SIY Sisäilmatieto Oy. 248 s. SIY raportti 26. ISBN 978-952-5236-33-1.

Laine, K. 2013. Järkeviä kuntotutkimuksia ja korjaustapoja sisäilman laadun parantamiseksi. Artikkelit sivulla 177. Säteri, J. (toim.) & Backman, H. (toim.). 2013. Sisäilmastoseminaari 2013: 13.3.2013. Helsinki: SIY Sisäilmatieto Oy. 384 s. SIY raportti 31. ISBN 978-952-5236-41-5.

Laine, K. 2014. Rakenteiden ilmatiiviyden parantaminen sisäilmakorjauksessa. Rakennusterveysasiantuntijakoulutuksen opinnäytetyö. Kuopio: Itä-Suomen yliopisto. 123 s. [Viitattu 6.8.2015.] Saatavissa:

http://www2.uef.fi/documents/976466/2568699/LaineKatariina_virallinen2014.pdf/3db1e1b4-23f1-42c6-93fa-165ee53fff5a

Laine, K. 2015. Pitkäaikaiskestävät rakenteiden ilmatiiviyden toteutustavat. Artikkelit sivulla 181. Säteri, J. (toim.) & Ahola, M. (toim.). 2015. Sisäilmastoseminaari 2015: 11.3.2015. Helsinki: SIY Sisäilmatieto Oy. 384 s. SIY raportti 33. ISBN 978-952-5236-43-9.

Lappalainen, V. & Sohlberg, E. & Järnström, H. & Laamanen, J. & Viitanen, H. & Pasanen, P. 2014. Epäpuhtauksien kulkeutumisen simulointi kosteusvaurioituneesta rakenteesta sisäilmaan. Artikkelit sivulla 111. Säteri, J. (toim.) & Backman, H. (toim.). 2014. Sisäilmastoseminaari 2014: 19.–20.3.2003. Helsinki: SIY Sisäilmatieto Oy. 384 s. SIY raportti 32. ISBN 978-952-5236-42-2.

Lesonen, J. 2010. Rakennuksen rakenteiden ilmapuotoselvitys merkkiainekaasun avulla – toimintamallikuvaus. Diplomityö. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 105 s.

Lindberg, R. 2003. Rakennusfysiikkaan liittyviä kysymyksiä. Helsinki: Rakennustieto Oy. Rakentajain kalenterin artikkeli sivuilla 479–483. [Viitattu 10.8.2015.] Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK030303.pdf>

Lindberg, R. 2004. Rakennusosien rakennusfysikaalinen toiminta. Helsinki: Rakennustieto Oy. Rakentajain kalenterin artikkeli sivuilla 425–434. [Viitattu 10.4.2015.] Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK040302.pdf>

M1-vaatimukset ja luokiteltujen tuotteiden käyttö. Rakennustietosäätiö RTS:n verkkosivut. [Viitattu 23.8.2015.] Saatavissa:
<https://www.rakennustieto.fi/index/rakennustieto/rakennusmateriaalienpaastoluokitus/m1-vaatimuksetjaluokiteltujentuotteidenkaytto.html>

Matilainen, V. 2005. Asuinrakennusten ilmanvaihto. Helsinki: Rakennustieto Oy. Rakentajain kalenterin artikkeli sivuilla 462–469. [Viitattu 10.8.2015.] Saatavissa:
<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK050306.pdf>

Metiäinen, P. & Saarimaa, J. & Saarnio, P. & Salomaa, H. & Tulla, K. & Viitanen, H. 1986. Rakennusten ilmanpitävyyden pysyvyys. Espoo: VTT. 165 s. Tutkimuksia / Valtion teknillinen tutkimuskeskus, 0358-5077; 422. ISBN 951-38-2301-6.

Museovirasto. 2000. Korjauskortti 2: Lämmöneristyksen parantaminen. Helsinki: Ympäristöministeriö. 11 s. [Viitattu 17.8.2015.] ISSN 1236-4517. Saatavissa:
<http://www.nba.fi/fi/File/2111/korjauskortti-2.pdf>

Niemi, S. 2012. Sisäilmatutkimuksilla hyviä sisäilmakorjauksia? Artikkelisiivulla 185. Säteri, J. (toim.) & Backman, H. (toim.). 2012. Sisäilmastoseminaari 2012: 14.3.2012. Helsinki: SIY Sisäilmatieto Oy. 379 s. SIY raportti 30. ISBN 978-952-5236-40-8.

Niemi, S. 2013. Sisäilma-asioihin tarvitaan uutta otetta. Artikkelisiivulla 183. Säteri, J. (toim.) & Backman, H. (toim.). 2013. Sisäilmastoseminaari 2013: 13.3.2013. Jyväskylä: SIY Sisäilmatieto Oy. 384 s. SIY raportti 31. ISBN 978-952-5236-41-5.

Ojanen, T. & Kovanen, K. & Saarela, K. & Viitanen, H. 2003. Menetelmä rakenteesta ja sen kautta sisäilmaan kulkeutuvien epäpuhtausemissioiden määrittämiseksi. Artikkelisiivulla 213. Säteri, J. (toim.) & Backman, H. (toim.). 2003. Sisäilmastoseminaari 2003: 19.–20.3.2003. Helsinki: SIY Sisäilmatieto Oy. 409 s. SIY raportti 19, 1237-1866; 19. ISBN 952-5236-21-8.

Pessi, A.-M. & Lumivirta, H. & Rantio-Lehtimäki, A. 1996. Homekasvu kerrostalon sandwich-rakenteisten julkisivuelementtien eristetilassa. Artikkelisiivulla 131. Ruotsalainen, R. (toim.) & Säteri, J. (toim.). 1996. Sisäilmastoseminaari 1996: 20.3.1996. Helsinki: Sisäilmayhdistys ry. 240 s. SIY raportti 6. ISBN 951-97186-4-8.

Pessi, A.-M. & Suonketo, J. & Pentti, M. & Rantio-Lehtimäki, A. 1999. Betonielementtijulkisivujen mikrobiologinen toimivuus. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu. 88 s. ISBN 952-15-0337-8. Saatavissa:
https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/20832/pessi_betonielementtijulkisivujen_mikrobiologinen_toimivuus.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Polvinen, M. & Kauppi, A. & Saarimaa, J. & Haalahti, P. & Laurikainen, M. 1983. Rakennusten ulkovaipan ilmanpitävyys. Espoo: VTT. 143 s. Tutkimuksia/Valtion teknillinen tutkimuskeskus, 0358-5077; 215. ISBN 951-38-1712-1.

Puhakka, E. & Bäck, B. & Kalso, S. & Vahanen, R. & Viitanen, H. & Arvela, H. & Voutilainen, A. & Ruotsalainen, R. & Koukila-Kähkölä, P. & Sarekoski, K. & Kärkkäinen, J. 1996. Terveellinen sisäilma. Helsinki: Suomen sisäilmaston mittaushuolto. 71 s. ISBN 952-90-7380-1.

Puhakka, E. & Kärkkäinen, J. 1994. Yleisimmät syyt rakennusten homevaurioihin ja niiden korjaaminen. Artikkelin sivulla 93. Seppänen, O. (toim.) & Tuomela, P. (toim.). 1994. Sisäilmastoseminaari 1994: 14.2.1994. Helsinki: Sisäilmayhdistys ry. 187 s. SIY raportti 2. ISBN 951-22-1978-6.

Päkkilä, T. 2012. Mikrobin kulkeutuminen sisäilmaan paine-eron vaikutuksesta. Diplomityö. Espoo: Aalto-yliopisto. 148 s. [Viitattu 1.2.2015.] Saatavissa: http://uutiset.hometalkoot.fi/component/dpcontentplugin/files/download/81/YTK028_Loppuraportti.pdf

Raatikainen, M. Sähköposti 19.3.2015. Julkaisematon.

Rakennuslehti numero 31, 10.10.2014. Tiivistyskorjauksen elinkaari on ehkä vain viisi vuotta. Artikkelin sivulla 4. [Viitattu 13.1.2015.] Saatavissa: <http://www.rakennuslehti.fi/2014/10/tiivistyskorjauksen-elinkaari-on-ehka-vain-viisi-vuotta/>

Rantala, J. & Leivo, V. 2007. Rakenteiden ja liitosten rakennusfysiikkaa. Helsinki: Rakennustieto Oy. Rakentajain kalenterin artikkeli sivuilla 383–391. [Viitattu 10.8.2015.] Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK070301.pdf>

RT 14-10850. 2005. Rakennuksen lämpökuvaus. Rakenteiden lämpötekniikka toimitus. Rakennustietosäätiö RTS. 8 s.

RT 14-10984. 2010. Betonin suhteellisen kosteuden mittaaminen. Rakennustietosäätiö RTS. 16 s.

RT 80-10712. 1999. Rakennuksen kosteus- ja mikrobivauriot. Rakennustietosäätiö RTS. 16 s.

Rautiainen, L. & Nousiainen, M. 1984. Rakennusten tiivistämistarvikkeiden käyttöominaisuudet. Espoo: VTT. 187 s. Tiedotteita / Valtion teknillinen tutkimuskeskus, 0358-5085; 342. ISBN 951-38-2024-6.

Sandberg, P. I. & Sikander, E. 2004. Lufttäthetsfrågorna i byggprocessen – Kunskapsinventering, laboratoriemätningar och simuleringar för att kartlägga behov av tekniska lösningar och utbildning. Borås: SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut. 136 s. SP Rapport 2004:22. ISBN 91-7848-995-4. [Viitattu 19.8.2015.] Saatavissa: http://www.sp.se/sv/units/energy/eti/Documents/SP%20RAPP%202004_22.pdf

Sandberg, P. I. & Sikander, E. & Wahlgren, P. & Larsson, B. 2007. Lufttäthetsfrågorna i byggprocessen – Etapp B. Tekniska konsekvenser och lönsamhetskalkyler. Borås: SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut. 89 s. SP Rapport 2007:23. ISBN 91-85533-53-X. [Viitattu 19.8.2015.] Saatavissa: <http://www.sp.se/sv/units/energy/eti/documents/slutversion%20word%20rev%20juni%20laguppl.pdf>

Sarja, A. 2010. Rakennuksen tiiviys. Helsinki: Rakennustieto Oy. Rakentajain kalenterin artikkeli sivuilla 385–394. [Viitattu 10.8.2015.] Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK090302.pdf>

SFS-EN 1542. 1999. Betonirakenteiden suojaus- ja korjausaineet ja niiden yhdistelmät. Testausmenetelmät. Tartuntalujuuden mittausta vetolaitteella. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. 10 s.

SFS-EN 1348. 2007. Adhesives for tiles. Determination of tensile adhesion strength for cementitious adhesives. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. 8 s.

SFS-EN ISO 4624. 2003. Maalit ja lakat. Tarttuvuuden arviointi vetokokeella. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. 25 s.

Seppänen, O. & Palonen, J. 1998. Sisäilmaston kansantaloudelliset vaikutukset. Helsinki: SIY sisäilmatieto. 48 s. SIY raportti, 1237-1866; 10. ISBN 952-5236-00-5.

Seppänen, O. (toim.) & Säteri, J. (toim.) & Lehtinen, T. (toim.) & Nevalainen, A. (toim.). 1997. Tavoitteena terve talo. Espoo; Helsinki: Sisäilmayhdistys; Teknologian kehittämiskeskus. 113 s. SIY raportti, 1237-1866; 9. ISBN 951-97186-8-0.

Seuri, M. & Palomäki, E. 2000. Haasteellinen sisäilma – riskianalyysi sisäilmaongelmissa. Helsinki: Rakennustieto. 138 s. ISBN 951-682-617-2.

Sobott, J. 2014. Tiiveystarkastelut ja tiivistyskorjaukset toimisto- ja palvelurakennuksiin. Opinnäytetyö (ylempi AMK). Helsinki: Metropolia Ammattikorkeakoulu. 64 s. [Viitattu 22.8.2015.] Saatavissa: <https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/82613/Tiiveystarkastelut%20ja%20tiivistyskorjaukset%20liike-%20ja%20palvelurakennuksiin.pdf?sequence=1>

STM. 2003. Asumisterveysohje: asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. Helsinki: Sosiaali- ja terveysministeriö. STM:n oppaita 2003:1. 93 s. ISBN 952-00-1301-6.

STM. 2009. Asumisterveysopas: Sosiaali- ja terveysministeriön Asumisterveysohjeen (STM:n oppaita 2003:1) soveltamisopas. Pori: Ympäristö- ja terveys -lehti. 200 s. ISBN 978-952-9637-38-6.

Ström, J. & Nordbäck, D. & West, J. & Wessén, B. & Palmgren, U. 1993. Microbial volatile organic compounds (MVOC): a causative agent to sick building problems. Artikkelisiivulla 351–357: Sterling, E. (toim.) & Bieva, C. (toim.) & Collett, C. (toim.). Building Design, Technology, and Occupant Well-Being in Temperate Climates. Yhdysvallat, Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. [Viitattu 21.7.2015.] Saatavissa: <https://industrydocuments.library.ucsf.edu/tobacco/docs/#id=tjvh0089>

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 1985. RIL K38-1985 Rakennusten lämmöneristämisen ja tiivistämisen tekniset ratkaisut. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 188 s. ISBN 951-758-076-2.

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2011. RIL 250-2011 Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 243 s. RIL / Suomen Rakennusinsinöörien Liitto, 0356-9403 ; 250-2011. ISBN 978-951-758-537-8.

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2012. RIL 107-2012 Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 219 s. RIL / Suomen Rakennusinsinöörien Liitto, 0356-9403; 107-2012. ISBN 978-951-758-545-3.

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2014. RIL 255-1-2014 Rakennusfysiikka 1. Rakennusfysikaalinen suunnittelu ja tutkimukset. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 500 s. RIL / Suomen Rakennusinsinöörien Liitto, 0356-9403 ; 255-1-2014. ISBN 978-951-758-589-7.

Suomen rakentamismääräyskokoelma C2 Kosteus, määräykset ja ohjeet. 1998. Helsinki: Ympäristöministeriö. 16 s. [Viitattu 30.3.2015.] Saatavissa: <http://www.finlex.fi/data/normit/1918-c2.pdf>

Suomen rakentamismääräyskokoelma D2 Sisäilmasto ja ilmanvaihto, määräykset ja ohjeet. 2012. Helsinki: Ympäristöministeriö. 34 s. [Viitattu 10.8.2015.] Saatavissa: http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012_Suomi.pdf

Suomen rakentamismääräyskokoelma D3 Rakennusten energiatehokkuus, määräykset ja ohjeet. 2010. Helsinki: Ympäristöministeriö. 35 s. [Viitattu 20.8.2015.] Saatavissa: http://www.finlex.fi/data/normit/34165-D3-2010_suomi_22-12-2008.pdf

Säteilyturvakeskus. 2003. Pöllänen, R. (toim.) Säteily ympäristössä. Helsinki: Säteilyturvakeskus. 395 s. [Viitattu 14.8.2015.] Saatavissa: http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/kirjasarja/fi_FI/kirjasarja2/

Terveyshaitan toteaminen. Terveiden ja hyvinvoinnin laitoksen verkkosivut. [Viitattu 17.8.2015.] <https://www.thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/sisailma/hometalo-ja-kosteusvaurio/terveyshaitan-toteaminen>

Tuomainen, M. & Björkroth, M. & Kämppi, R. & Mussalo-Rauhamaa, H. & Salo, S-P. & Sääntti, J. & Tuomi, T. & Voutilainen, R. & Seppänen, O. 2003. Ilmanvaihtojärjestelmän mineraalivillakuitujen terveysvaikutukset. Espoo: Teknillinen korkeakoulu. 70 s. Teknillinen korkeakoulu. Konetekniikan osasto. LVI-tekniikan laboratorio. B, 1455-2043;76. ISBN 951-22-6538-9.

Vinha, J. 2009. Rakennusten rakennusfysikaalisen suunnittelun ja rakentamisen periaatteet. Helsinki: Rakennustieto Oy. Rakentajain kalenterin artikkeli sivuilla 362–381. [Viitattu 10.8.2015.] Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK090302.pdf>

Vinha, J. 2014. Energiatehokkuuden vaikutukset uudis- ja korjausrakentamisessa. Luentoaineisto/Energiaviisas rakentaminen, SAMK, Pori, 26.11.2014. Tampereen teknillinen yliopisto. 61 s.

Vinha, J. & Korpi, M. & Kalamees, T. & Eskola, L. & Palonen, J. & Kurnitski, J. & Valovirta, I. & Mikkilä, A. & Jokisalo, J. 2005. Puurunkoisten pientalojen kosteus- ja lämpötilaolosuhteet, ilmanvaihto ja ilmatiiviys. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. 102 s. Tutkimusraportti 131. ISBN 952-15-1379-9.

Vinha, J. & Korpi, M. & Kalamees, T. & Jokisalo, J. & Eskola, L. & Palonen, J. & Kurnitski, J. & Aho, H. & Salminen, M. & Salminen, K. & Keto, M. 2009. Asuinrakennusten ilmanpitävyys, sisäilmasto ja energiatalous. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu. 148 s. Tutkimusraportti, Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikan laitos, 1797-9161; 140. ISBN 978-952-15-2105-8.

Vinha, J. & Käkälä, P. 2001. Vesihöyryn siirtyminen seinäarakenteissa diffuusion ja konvektion vaikutuksesta. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu. 81 s. ISBN 952-15-0340-8. [Viitattu 13.8.2015.] Saatavissa: http://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/21744/vinha_kakela-vesihoyryn_siirtyminen_seinarakenteissa.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Vinha, J. & Lindberg, R. & Pentti, M. & Mattila, J. & Lahdensivu, J. & Heljo, J. & Suonketo, J. & Leivo, V. & Korpi, M. & Aho, H. & Lähdesmäki, K. & Aaltonen, A. 2008. Matalaenergiarakenteiden toimivuus. Tutkimustuloksia ja suosituksia uusiin lämmöneristys- ja energiankulutusmääräyksiin ja -ohjeisiin, loppuraportti. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos, Talonrakennustekniikka, Tutkimusselostus TRT/1706/2008. 88 s.

Wadsö, Lars. 1999. Byggnaden och innemiljön – ett försök till sammanfattning av kunskapsläget. Lund: Lunds Tekniska Högskola. 49 s. [Viitattu 12.8.2015.] Saatavissa: <http://lup.lub.lu.se/record/1291995/file/1917414.pdf>

YM. 1997. Ympäristöopas 28, Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus. Helsinki: Ympäristöministeriö. 143 s. ISBN 951-682-468-4.

Liiteluettelo

Liite 1. Koekappaleiden pinnoituksen aikataulu. 1 sivu.

Liite 2. Betonikoekappaleiden suhteelliset kosteudet, 1 sivu.

Liite 3. Kohde A, merkkiainekokeiden koejärjestelyt ja tulokset sekä rakenneavausten tulokset, 4 sivua.

Liite 4. Kohde B, merkkiainekokeiden koejärjestelyt ja tulokset sekä rakenneavausten tulokset, 2 sivua.

Liite 5. Kohde C, merkkiainekokeiden koejärjestelyt ja tulokset sekä rakenneavausten tulokset, 11 sivua.

Liite 6. Kohde D, merkkiainekokeiden koejärjestelyt ja tulokset sekä rakenneavausten tulokset, 2 sivua.

Liite 7. Kohde E, merkkiainekokeiden koejärjestelyt ja tulokset sekä rakenneavausten tulokset, 6 sivua.

Liite 8. Kohde F, merkkiainekokeiden koejärjestelyt ja tulokset sekä rakenneavausten tulokset, 12 sivua.

Liite 9. Kohde G, merkkiainekokeiden koejärjestelyt ja tulokset sekä rakenneavausten tulokset, 5 sivua.

Liite 10. Tartuntavetolujuusmittarin näyttämiä vastaavat todelliset arvot, 2 sivua.

Liite 11. Kappaleiden pinnoitekerroksia vastaavat kirjaintunnukset, 1 sivu.

Liite 12. Tartuntavetolujuuskokeiden tulokset, 16 sivua.

Liite 1. Koekappaleiden pinnoituksen aikataulu.

Taulukko 1. Koekappaleiden pinnoituksen aikataulu.

| Kappale | Aloit | 1. pinnoite | Kuivumis- aika (h) | 2. pinnoite | Kuivumis- aika (h) | 3. pinnoite | Kuivumis- aika (h) | 4. pinnoite | Kuivumis- aika (h) | 5. pinnoite | Kuivumis- aika (h) | 6. pinnoite | Kuivumis- aika (h) | Liimaus | Koestus |
|---------|-----------|----------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------|-----------|
| B1A | 15.5.2015 | 8+9 1:1 ²⁾ | 0 | SK 12 | 24 | 8+9 1:1 ²⁾ | 12x24 | - | - | - | - | - | - | 27.5.2015 | 28.5.2015 |
| B2A | 11.5.2015 | P 51 1:3 ¹⁾ | 4x24 | 8+9 1:1 ²⁾ | 0 | SK 12 | 24 | 8+9 1:1 ²⁾ | 9x24 | - | - | - | - | 20.5.2015 | 25.5.2015 |
| L1A | 11.5.2015 | P 51 1:1 ¹⁾ | 3 | K 14 5:1,15 ¹⁾ | 4x24 | 8+9 1:1 ²⁾ | 0 | SK 12 | 24 | 8+9 1:1 ²⁾ | 5x24 | - | - | 20.5.2015 | 21.5.2015 |
| L2A | 11.5.2015 | P 51 1:1 ¹⁾ | 3 | K 14 5:1,15 ¹⁾ | 4x24 | P 51 1:3 ¹⁾ | 2 | 8+9 1:1 ²⁾ | 0 | STB 15-75 | 24 | 8+9 1:1 ²⁾ | 5x24 | 20.5.2015 | 21.5.2015 |
| L3A | 11.5.2015 | P 51 1:1 ¹⁾ | 3 | K 14 5:1,15 ¹⁾ | 4x24 | P 51 1:3 ¹⁾ | 2 | STB 15-75 | 4x24 | - | - | - | - | 18.5.2015 | 19.5.2015 |
| S1A | 11.5.2015 | P 51 1:1 ¹⁾ | 3 | Presto LF | 4x24 | P 51 1:3 ¹⁾ | 2 | 8+9 1:1 ²⁾ | 0 | SK 12 | 24 | 8+9 1:1 ²⁾ | 5x24 | 20.5.2015 | 21.5.2015 |
| P1A | 15.5.2015 | 8+9 1:1 ²⁾ | 0 | SK 12 | 24 | 8+9 1:1 ²⁾ | 9x24 | - | - | - | - | - | - | 18.5.2015 | 25.5.2015 |
| P2A | 11.5.2015 | P 51 1:5 ¹⁾ | 4x24 | 8+9 1:1 ²⁾ | 0 | SK 12 | 24 | 8+9 1:1 ²⁾ | 9x24 | - | - | - | - | 18.5.2015 | 25.5.2015 |
| P3A | 11.5.2015 | P 51 1:0 ¹⁾ | 3 | STB 15-75 | 8x24 | - | - | - | - | - | - | - | - | 18.5.2015 | 19.5.2015 |
| P4A | 15.5.2015 | STB 15-75 | 6x24 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 20.5.2015 | 21.5.2015 |
| M1A | 15.5.2015 | 8+9 1:1 ²⁾ | 0 | SK 12 | 24 | 8+9 1:1 | 3x24 | - | - | - | - | - | - | 18.5.2015 | 19.5.2015 |
| M2A | 15.5.2015 | STB 15-75 | 4x24 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 18.5.2015 | 19.5.2015 |
| R1A | 17.5.2015 | STB 15-75 | 2x24 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 18.5.2015 | 19.5.2015 |
| U1A | 1.8.2015 | STB 15-75 | 10x24 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 18.5.2015 | 19.5.2015 |
| H1A | 1.8.2015 | STB 15-75 | 10x24 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| B1B | 19.5.2015 | Codex BST 75 | 8x24 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| B2B | 16.5.2015 | Blowerproof LB | 13x24 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 25.5.2015 | 27.5.2015 |
| L1B | 11.5.2015 | P 51 1:1 ¹⁾ | 3 | K 14 5:1,15 ¹⁾ | 6x24 | PE 460 New ³⁾ | 11x24 | - | - | - | - | - | - | 28.5.2015 | 29.5.2015 |
| L2B | 11.5.2015 | P 51 1:1 ¹⁾ | 3 | K 14 5:1,15 ¹⁾ | 8x24 | Codex BST 75 | 8x24 | - | - | - | - | - | - | 27.5.2015 | 28.5.2015 |
| L3B | 11.5.2015 | P 51 1:1 ¹⁾ | 3 | K 14 5:1,15 ¹⁾ | 5x24 | Blowerproof LB | 12x24 | - | - | - | - | - | - | 25.5.2015 | 27.5.2015 |
| P1B | 17.5.2015 | PE 460 New ³⁾ | 10x24 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 27.5.2015 | 28.5.2015 |
| P2B | 19.5.2015 | Codex BST 75 | 8x24 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 26.5.2015 | 27.5.2015 |
| P3B | 16.5.2015 | Blowerproof LB | 9x24 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 25.5.2015 | 27.5.2015 |
| M1B | 19.5.2015 | Codex BST 75 | 8x24 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 18.5.2015 | 25.5.2015 |
| M2B | 16.5.2015 | Blowerproof LB | 3x24 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 25.5.2015 | 27.5.2015 |
| H1B | 1.8.2015 | Codex BST 75 | 10x24 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 18.5.2015 | 19.5.2015 |
| H2B | 1.8.2015 | Blowerproof LB | 10x24 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| B1C | 16.5.2015 | Peruspinnote ⁴⁾ | 4 | Hyytelö ⁴⁾ | 20 | Hyytelö ⁴⁾ | 10x24 | - | - | - | - | - | - | 26.5.2015 | 27.5.2015 |
| P1C | 16.5.2015 | Peruspinnote ⁴⁾ | 4 | Hyytelö ⁴⁾ | 20 | Hyytelö ⁴⁾ | 10x24 | - | - | - | - | - | - | 26.5.2015 | 27.5.2015 |
| M1C | 16.5.2015 | Peruspinnote ⁴⁾ | 4 | Hyytelö ⁴⁾ | 20 | Hyytelö ⁴⁾ | 11x24 | - | - | - | - | - | - | 27.5.2015 | 28.5.2015 |

Kaikki seossuhteet on ilmoitettu paino-osina. Seossuhteissa, levytysspuksuissa ja kuivumis- tai kovettumisaikojissa noudatettiin valmistajien ohjeita.

¹⁾ Ilmoitettaessa seossuhde X:Y X on pinnon osuus ja Y on veden osuus.

²⁾ 8+9:n seossuhde 1:1 merkitsee, että komponenttia 8 on yhtä paljon kuin komponenttia 9.

³⁾ PE 460 New:n hartiosan suhde kovetusaikaan on 190/100. Väriainetta laitettiin 1 % valmiin seoksen kokonaispainosta.

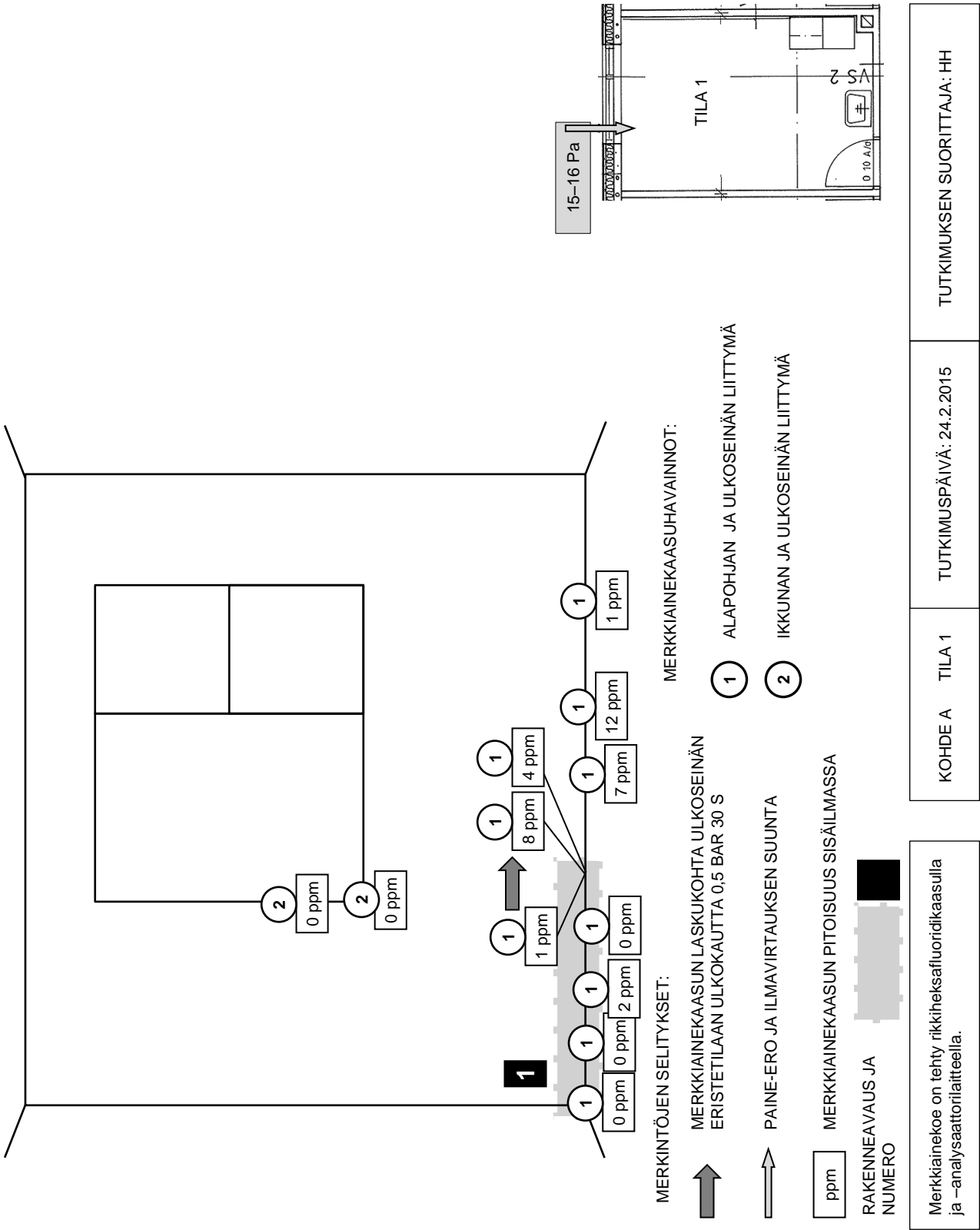
⁴⁾ TKR Peruspinnoniteen ja TKR Hyytelön muoviosan suhde kovetusaikaan on 100/60.

Liite 2. Betonioekappaleiden suhteelliset kosteudet.

Taulukko 2. Betonioekappaleiden suhteelliset kosteudet porareikämenetelmällä mitattuna. Sarakkeissa kappale, porareian syvyys, porareian lämpötila mittaushetkellä sekä betonin suhteellinen ja absoluuttinen kosteus.

| Koekappale | Mittaussyvyys (mm) | T (°C) | RH (%) | Abs. (g/m ³) |
|------------|--------------------|--------|--------|--------------------------|
| B1A | 10 | 17,8 | 53,6 | 8,1 |
| B2A | 10 | 17,8 | 63,2 | 9,6 |
| L1A | 10 | 17,4 | 66,1 | 9,8 |
| L2A | 10 | 17,5 | 58,3 | 8,7 |
| L3A | 10 | 17,8 | 57,2 | 8,7 |
| S1A | 10 | 17,9 | 45,3 | 6,9 |
| B1B | 10 | 17,8 | 56,7 | 8,6 |
| L3B | 10 | 17,9 | 56,0 | 8,6 |
| B1C | 10 | 17,7 | 62,5 | 9,4 |
| L1B | 10 | 17,8 | 61,4 | 9,3 |
| L2B | 10 | 17,7 | 59,7 | 9,0 |
| B2B | 10 | 17,8 | 56,9 | 8,7 |
| Ilma | - | 18,0 | 40,3 | 6,2 |

Liite 3. Kohde A, merkkiainekokeiden koejärjestelyt ja tulokset sekä rakenneavausten tulokset.



Kuva 1. Merkkiainekokeen koejärjestely ja tulokset sekä rakenneavauksen kohta, tila 1.

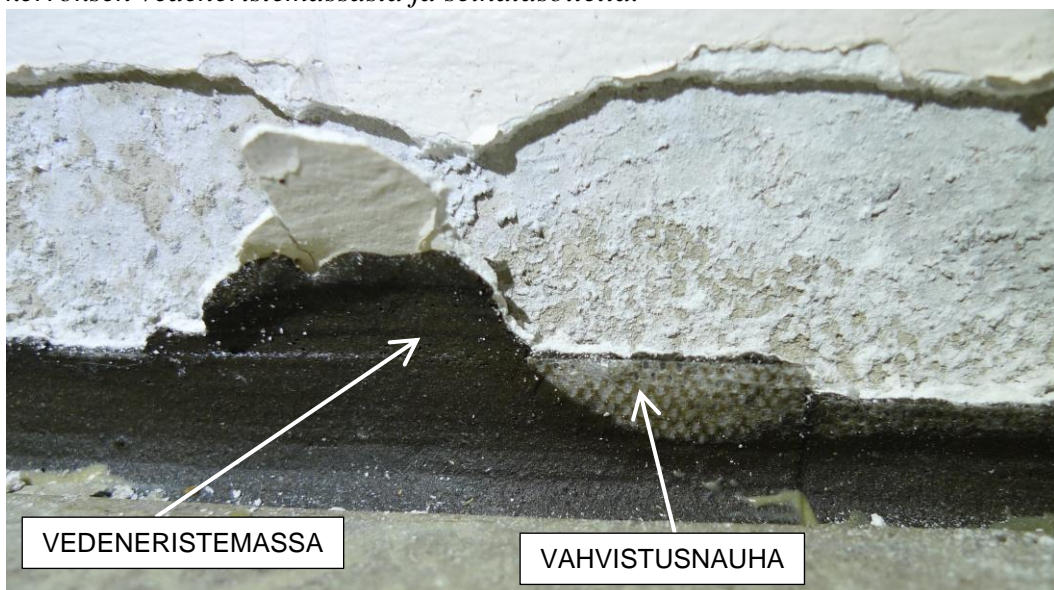
Liite 3. Kohde A, merkkiainekokeiden koejärjestelyt ja tulokset sekä rakenneavausten tulokset.



Kuva 2. Avattu tiivis kohta tilassa 1 ulkoseinän ja lattian liittymässä on merkitty ympyrällä (rakenneavaus 1).

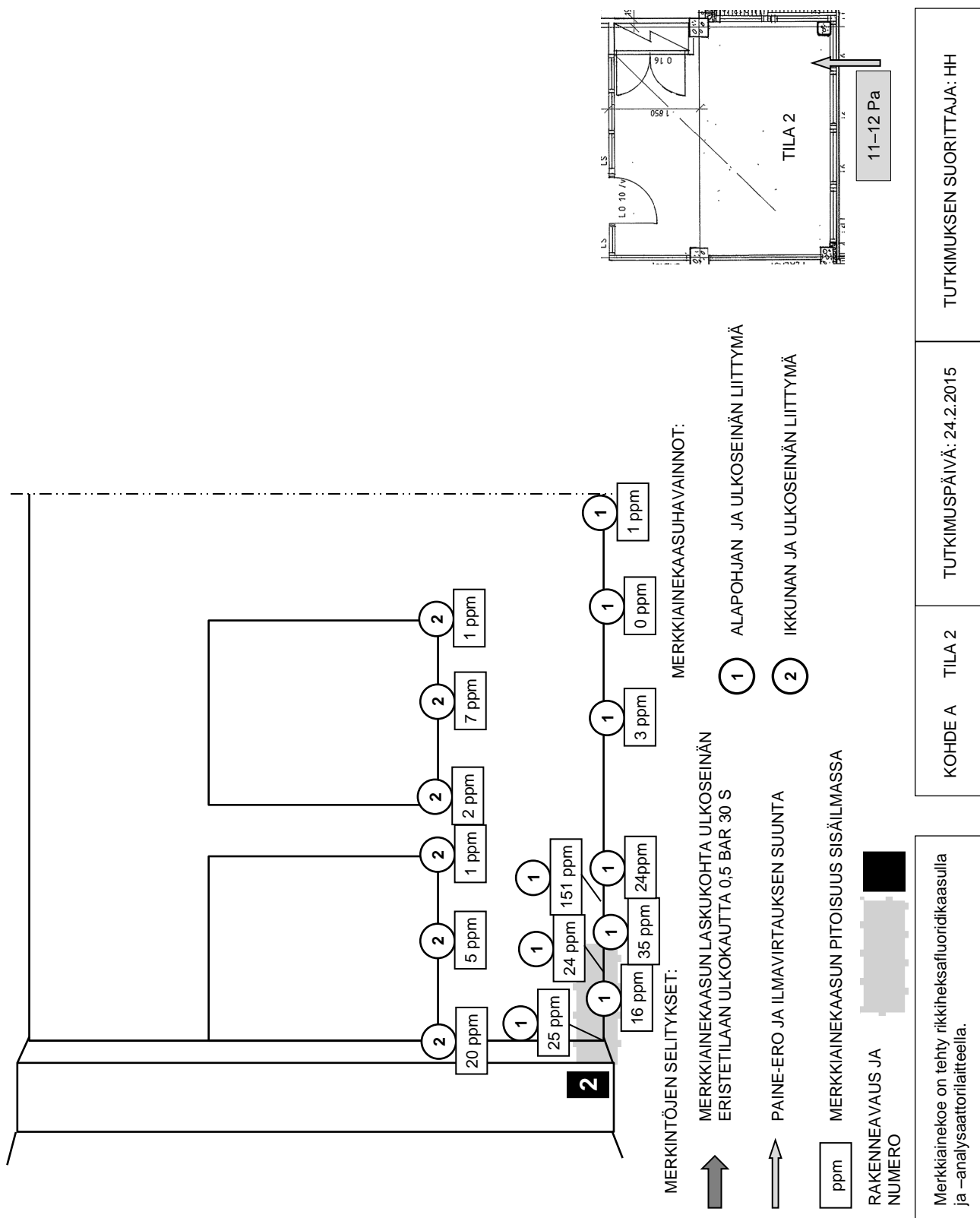


Kuva 3. Lista oli kiinnitetty liimaten. Liiman mukana irtosi osa myös päällimmäisen kerroksen vedeneristemassasta ja seinätasoitetta.



Kuva 4. Vedeneristemassa oli levitetty seinätasoitteen päälle.

Liite 3. Kohde A, merkkiainekokeiden koejärjestelyt ja tulokset sekä rakenneavausten tulokset.

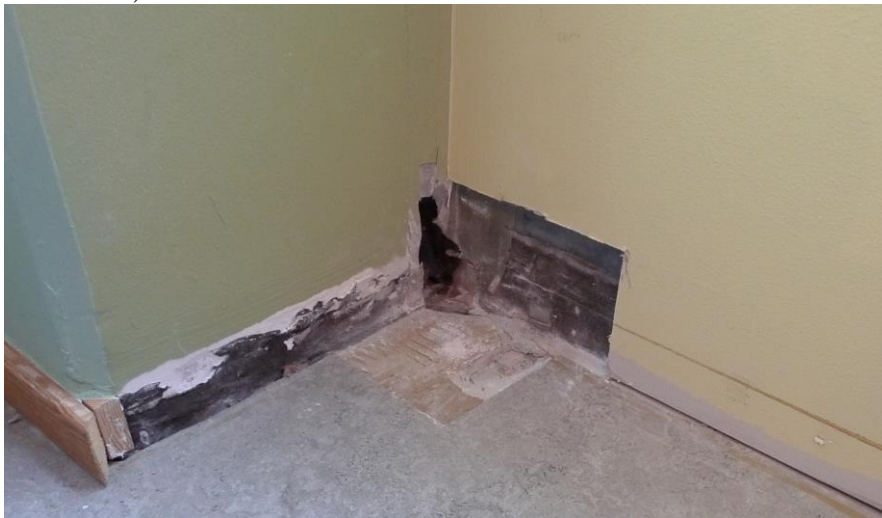


Kuva 5. Merkkiainekokeen koejärjestely ja tulokset sekä rakenneavauksen kohta, tila 2.

Liite 3. Kohde A, merkkiainekokeiden koejärjestelyt ja tulokset sekä rakenneavausten tulokset.



Kuva 6. Avattu epätiivis kohta tilassa 2 pilarin juuressa on merkitty ympyrällä (rakenneavaus 2).

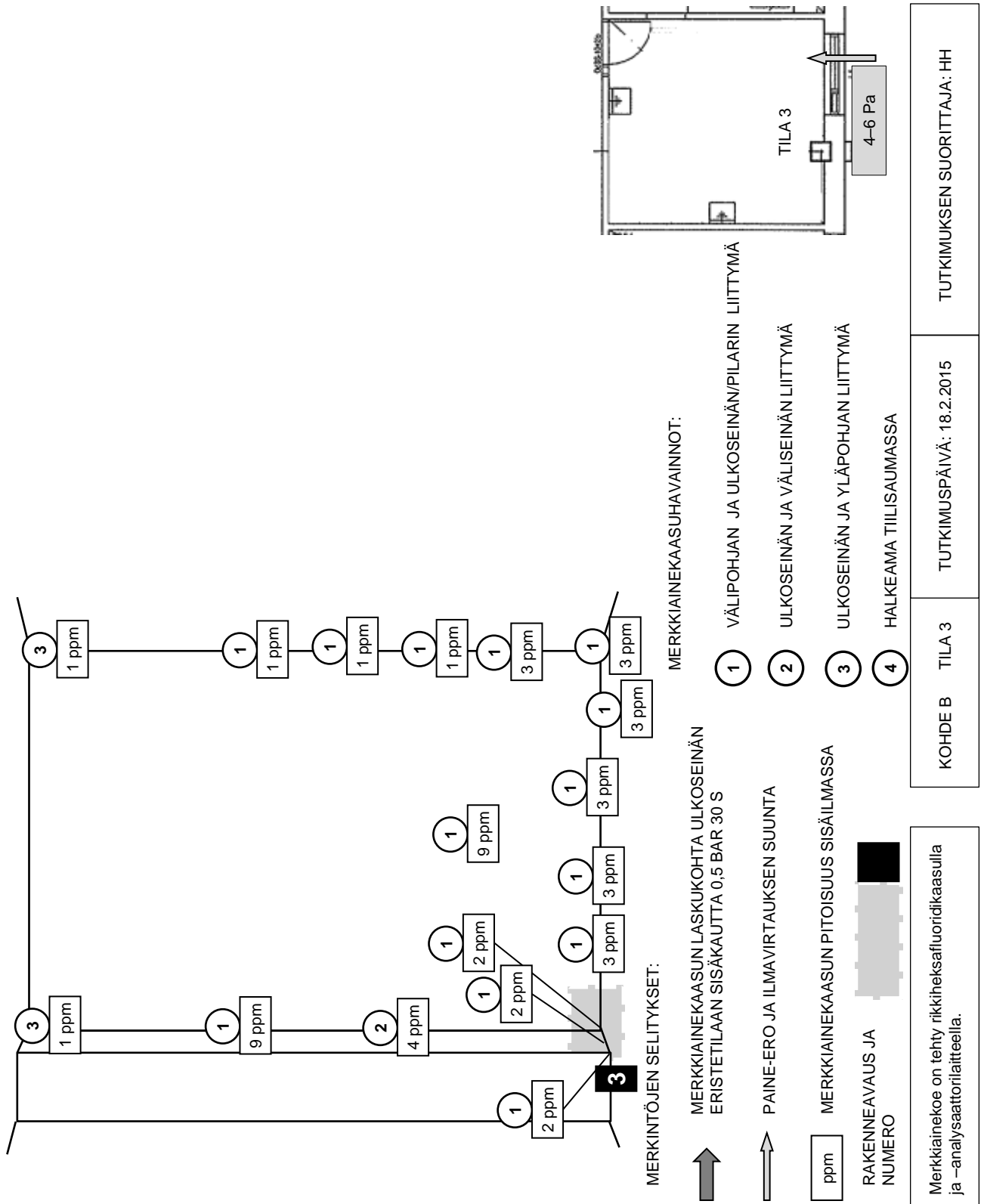


Kuva 7. Kipsilevyseinää ja lattiamattoja on avattu ja lista pilarin juuresta on poistettu.



Kuva 8. Pilarin ja seinän välinen rako on tyhjä ja pilari on liitetty seinään butyyliteipillä. Seinän höyrynsulkumuovin päälle on levitetty vedeneristemassa.

Liite 4. Kohde B, merkkiainekokeiden koejärjestelyt ja tulokset sekä rakenneavausten tulokset.



Kuva 9. Merkkiaineekokeen koejärjestely ja tulokset sekä rakenneavauksen kohta, tila 3.

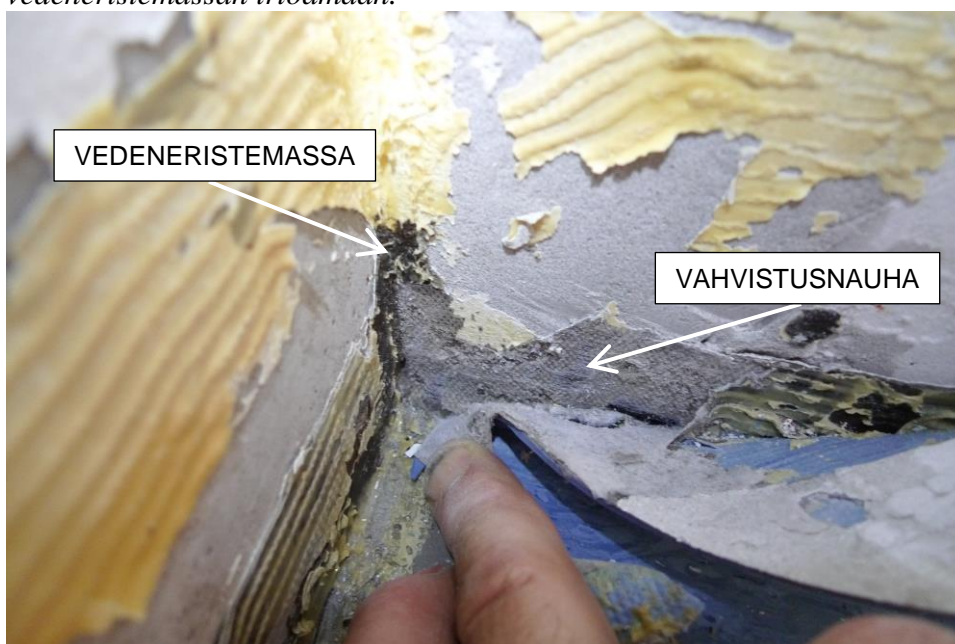
Liite 4. Kohde B, merkkiainekokeiden koejärjestelyt ja tulokset sekä rakenneavausten tulokset.



Kuva 10. Avattu tiivis kohta tilassa 3 pilarin juuressa on merkitty ympyrällä (rakenneavaus 3).

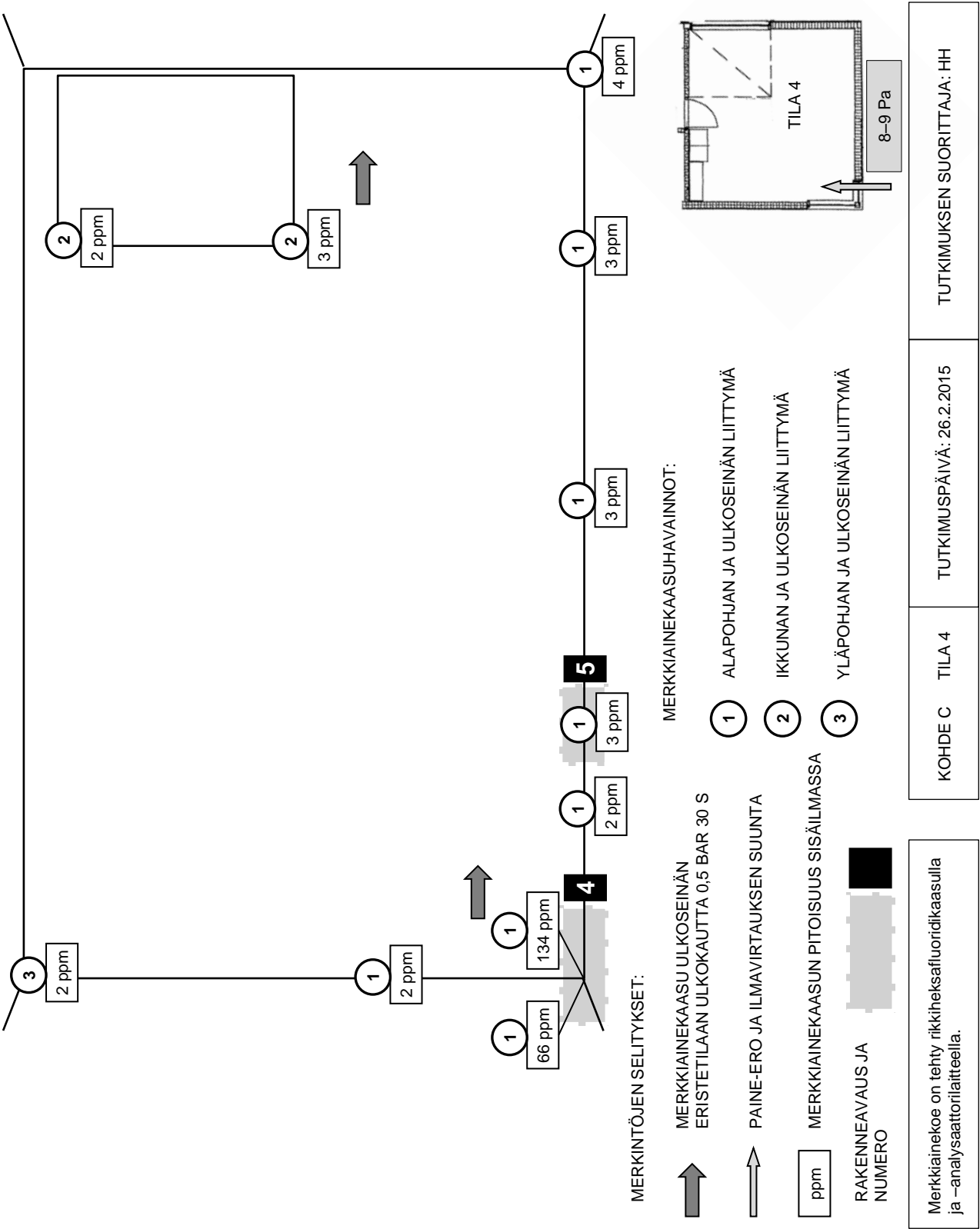


Kuva 11. Mattoa irrotettaessa mattoliima todennäköisesti sai tasoitteen päälle levitetyn vedeneristemassan irtoamaan.



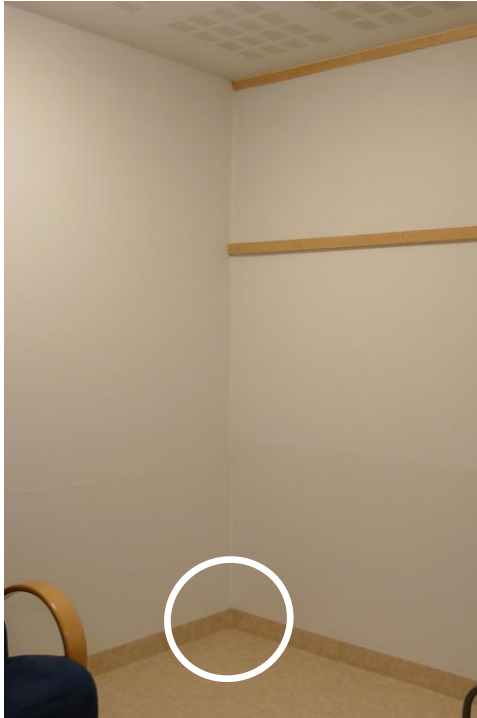
Kuva 12. Vedeneristemassa vahvikenauhoineen oli levitetty liittymän yli lattiaan asti.

Liite 5. Kohde C, merkkiainekokeiden koejärjestelyt ja tulokset sekä rakenneavausten tulokset.



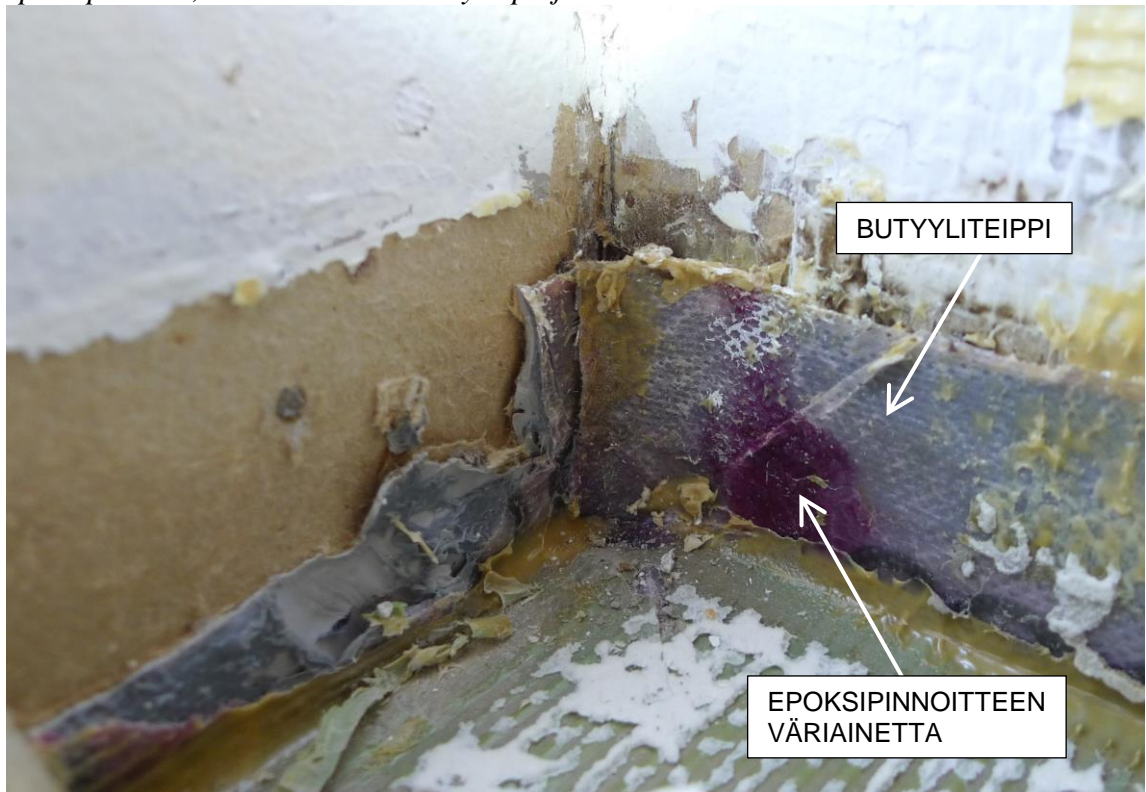
Kuva 13. Merkkiainekokeen koejärjestely ja tulokset sekä rakenneavausten kohdat, tila 4.

Liite 5. Kohde C, merkkiainekokeiden koejärjestelyt ja tulokset sekä rakenneavausten tulokset.



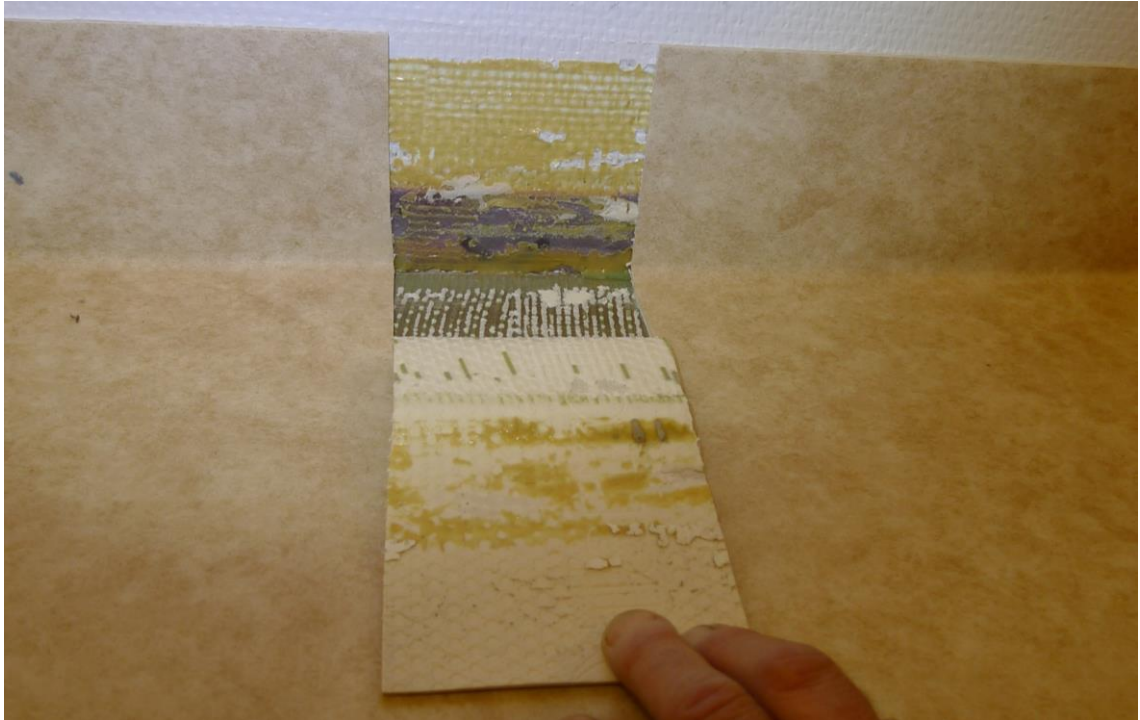
Kuva 14 (vasemmalla). Avattu epätiivis kohta tilassa 4 alapohjan ja kahden ulkoseinän yhtymäkohdassa on merkitty ympyrällä (rakenneavaus 4).

Kuva 15 (oikealla). Nurkassa kipsilevyjen sauman päälle oli asennettu butyyliteippi ja epoksinnoite, mutta saumaa oli myös paljaana.

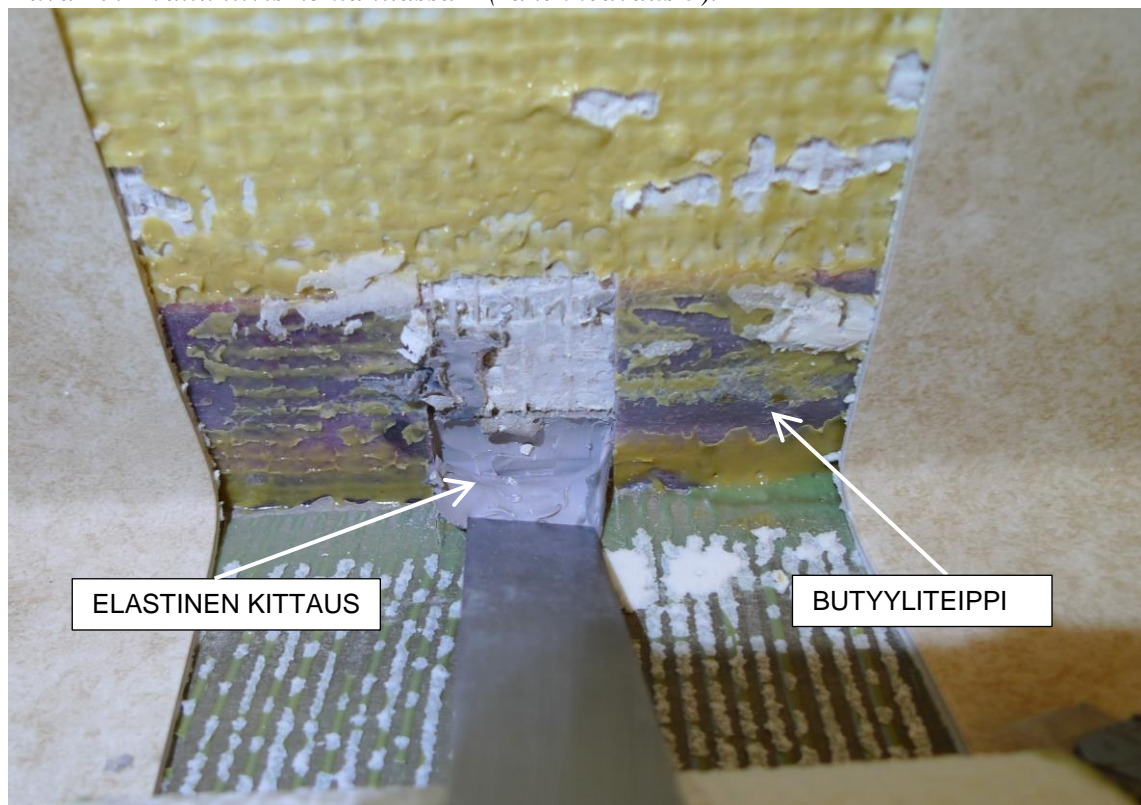


Kuva 16. Kuvassa mattoa irrotettaessa alustastaan osin irronnut butyyliteippi, sen päälle levitettyä epoksinnoitetta (suurimmaksi osaksi läpinäkyvää) sekä tiivistysmateriaalien päällä ja lattiassa olevaa mattoliimaa.

Liite 5. Kohde C, merkkiainekokeiden koejärjestelyt ja tulokset sekä rakenneavausten tulokset.

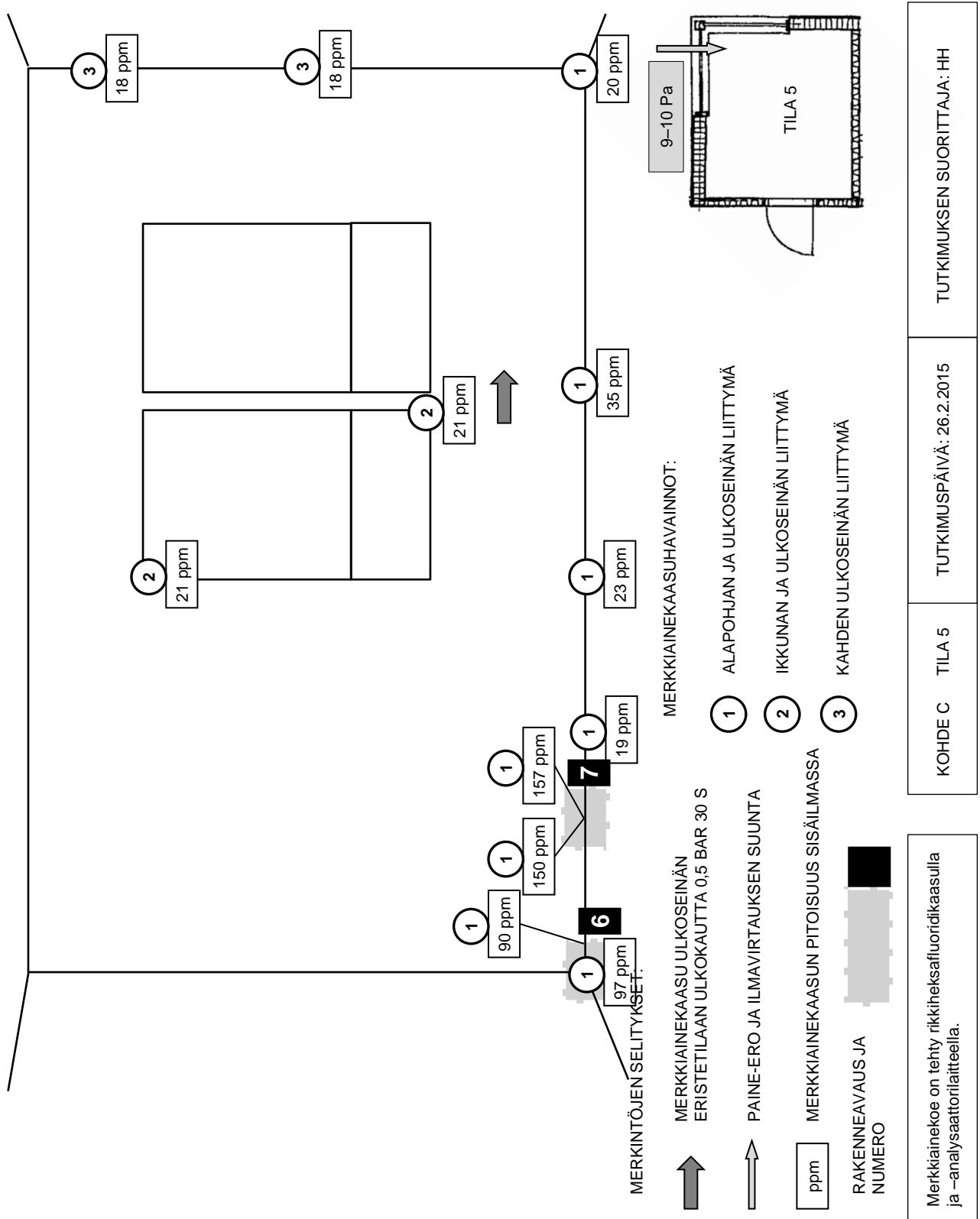


Kuva 17. Avattu tiivis kohta tilassa 4 (rakenneavaus 5).



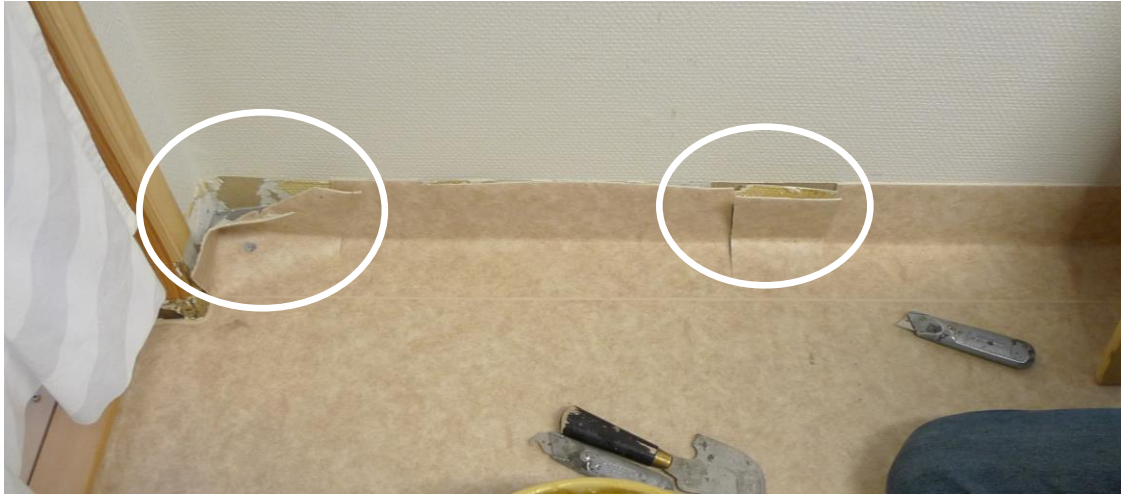
Kuva 18. Kuvassa mattonoston alla oleva tiivistys. Sisäverhouslevyn ja lattian yhtymäkohdassa on elastinen kittaus. Butyyliteippi on levitetty kittauksen ja seinän lasikuitutapetin päälle. Butyyliteipistä irrotettiin pala. Butyyliteipin päällä on epoksipinnoite. Kuvassa näkyy myös mattoliimaa.

Liite 5. Kohde C, merkkiainekokeiden koejärjestelyt ja tulokset sekä rakenneavausten tulokset.

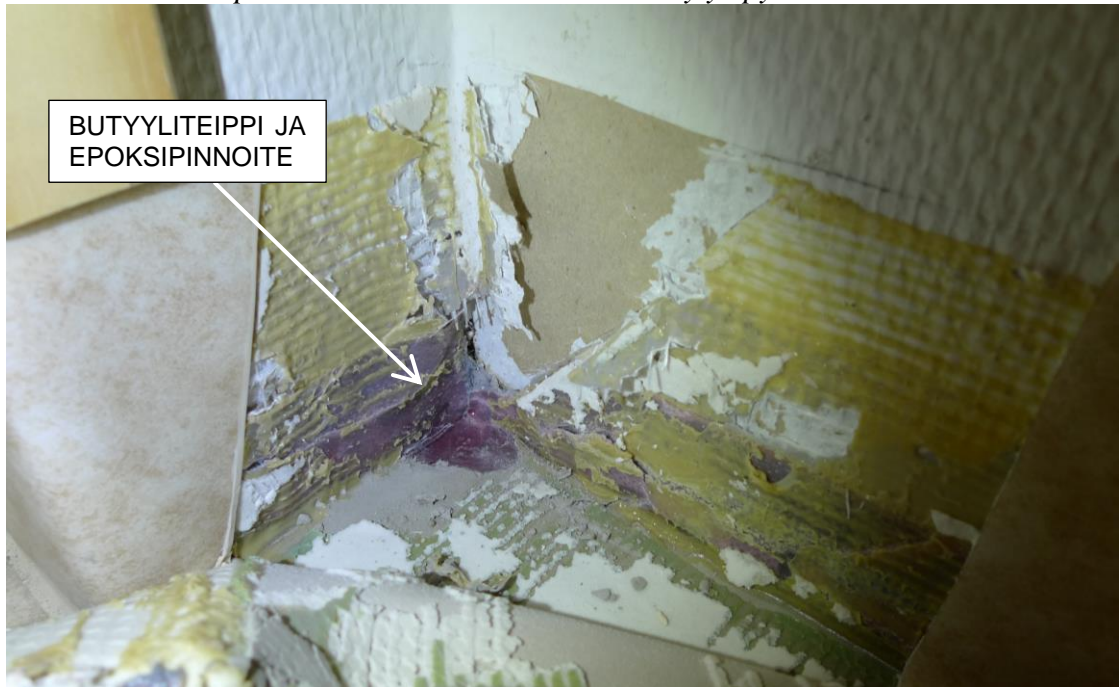


Kuva 19. Merkkiainekokeen koejärjestely ja tulokset sekä rakenneavausten kohdat, tila 5.

Liite 5. Kohde C, merkkiainekokeiden koejärjestelyt ja tulokset sekä rakenneavausten tulokset.



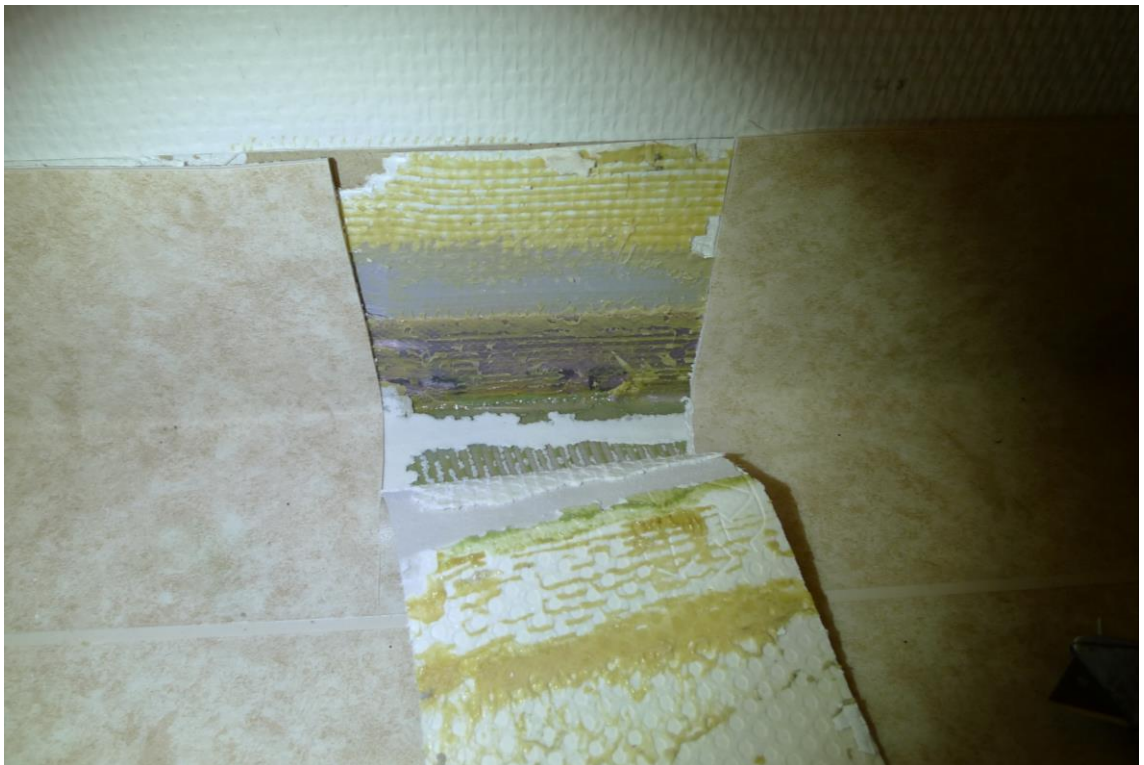
Kuva 20. Avatut epätiivyt kohdat tilassa 5 on merkitty ympyrällä.



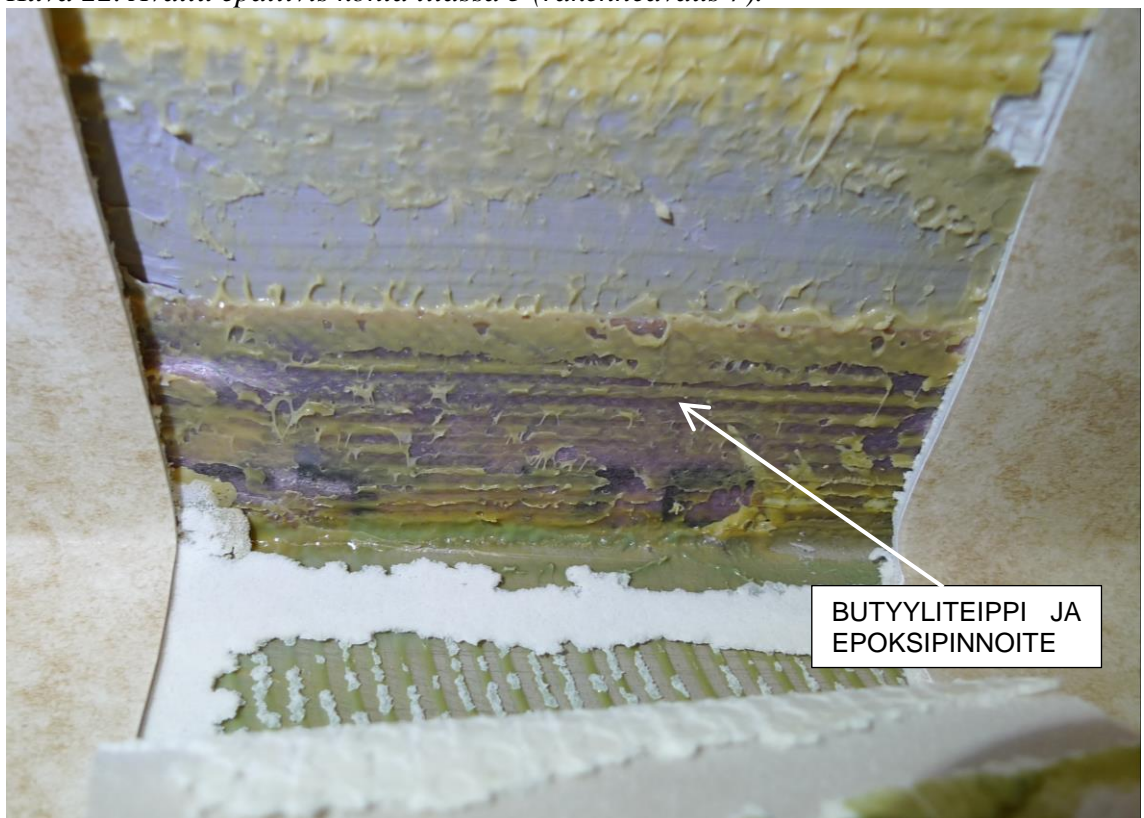
BUTYYLITEIPPI JA
EPOKSIPINNOITE

Kuva 21. Nurkan epätiivelyskohta (rakenneavaus 6). Butyyliteippi on liimattu kipsilevyjen saumassa lasikuitutapetin päälle. Teipin päällä on epoksinnoite. Teipistä leikattiin pala irti nurkasta – teippi näyttää kuvassa peittävän pienemmän alueen kuin se todellisuudessa peitti.

Liite 5. Kohde C, merkkiainekokeiden koejärjestelyt ja tulokset sekä rakenneavausten tulokset.

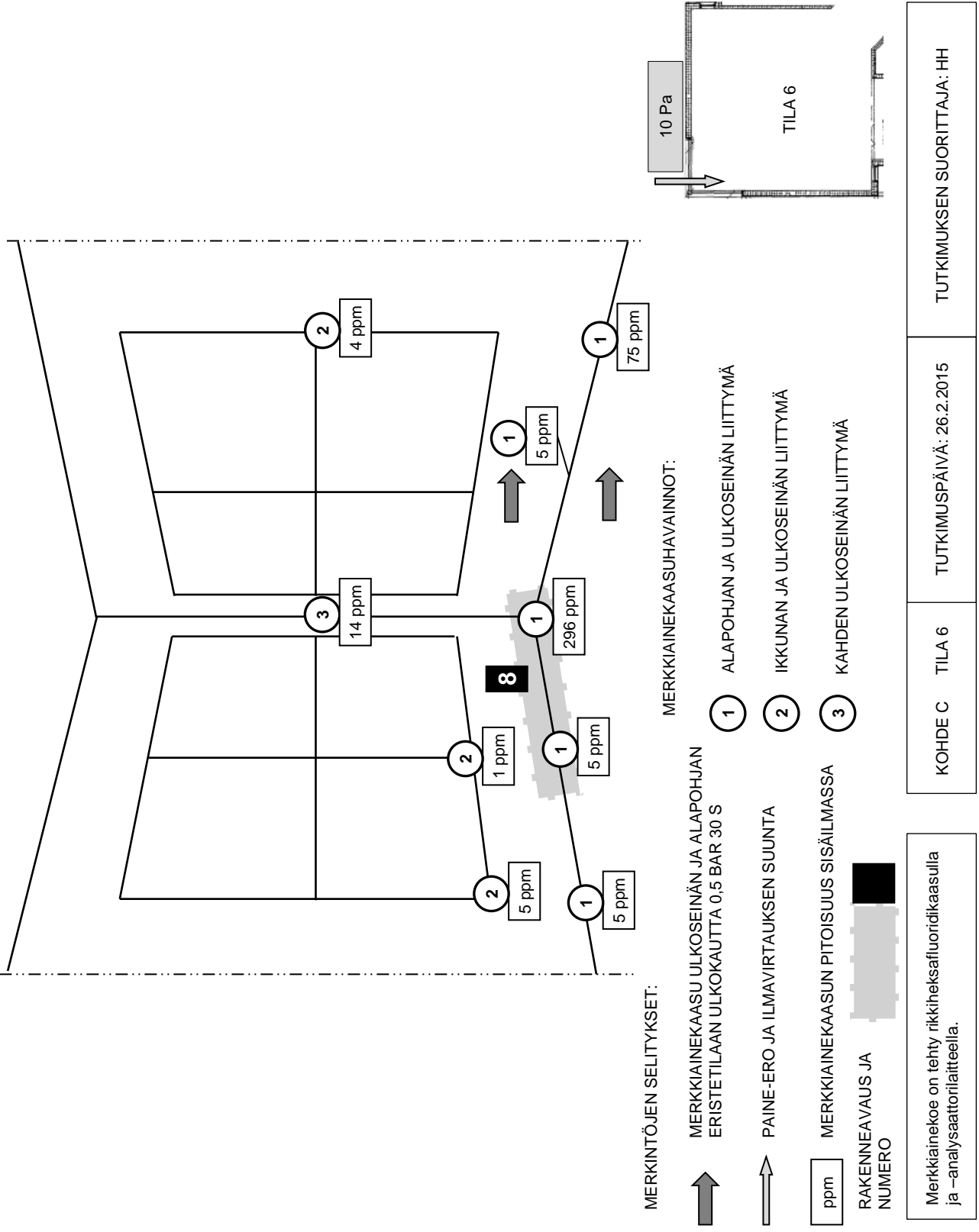


Kuva 22. Avattu epätiivis kohta tilassa 5 (rakenneavaus 7).



Kuva 23. Butyyliteippi ja sen päällä oleva epoksinnoite olivat ehjät ja hyvin kiinni alustoissaan.

Liite 5. Kohde C, merkkiainekokeiden koejärjestelyt ja tulokset sekä rakenneavausten tulokset.



Kuva 24. Merkkiainekokeen koejärjestely ja tulokset sekä rakenneavauksen kohta, tila 6.

Liite 5. Kohde C, merkkiainekokeiden koejärjestelyt ja tulokset sekä rakenneavausten tulokset.



Kuva 25. Avattu epätiivis kohta tilassa 6 on merkitty ympyrällä (rakenneavaus 8).

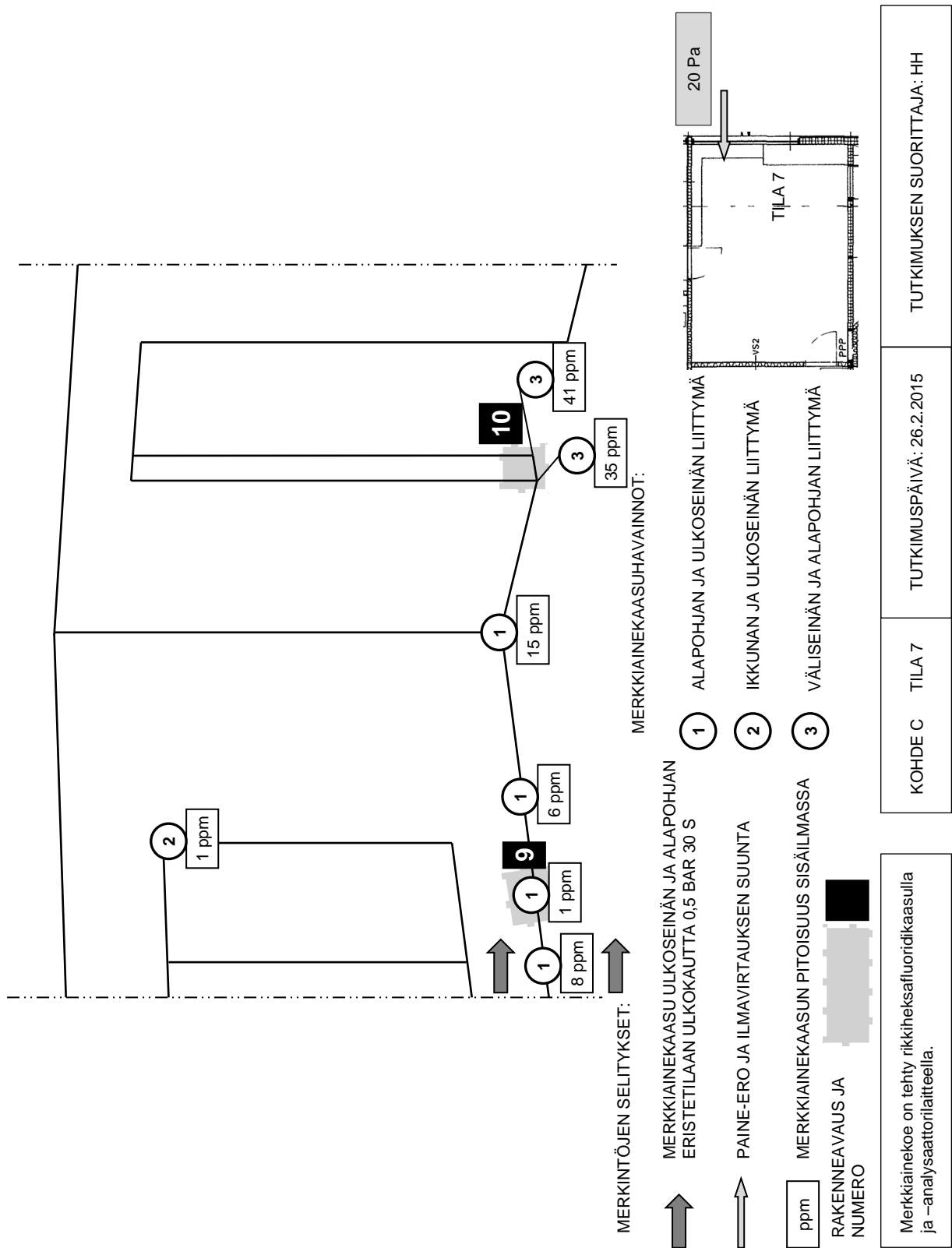


Kuva 26. Parkettia avattiin, jolloin saatiin näkyviin kipsilevyyn asennettu butyyliteippi sekä sen päälle levitetty epoksinnoite. Nurkka oli epätiivis, kun taas siitä alkava seinälinja oli tiivis. Nurkan kipsilevyjen yhtymäkohdassa oli elastinen kittaus.



Kuva 27. Butyyliteipin ja nurkan välissä oli pieni rako, joka saattoi selittää vuotoa. Lat-
tialistat oli myös kiinnitetty seinälevyyn naulaten huonontaen tiiviyttä.

Liite 5. Kohde C, merkkiainekokeiden koejärjestelyt ja tulokset sekä rakenneavausten tulokset.



Kuva 28. Merkkiainekokeen koejärjestely ja tulokset sekä rakenneavausten kohdat, tila 7.

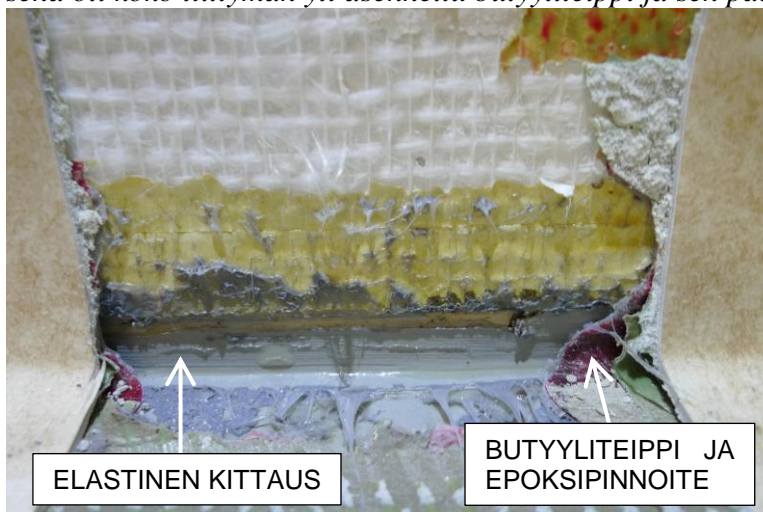
Liite 5. Kohde C, merkkiainekokeiden koejärjestelyt ja tulokset sekä rakenneavausten tulokset.



Kuva 29. Avattu tiivis kohta tilassa 7 on merkitty ympyrällä (rakenneavaus 9).



Kuva 30. Avauskohdassa ollut tiivistys lähti osittain irti mattoa poistettaessa. Tiivistyksenä oli koko liittymän yli asennettu butyyliteippi ja sen päälle levitetty epoksinnoite.



Kuva 31. Butyylinauhan tartuntapintana oli elastista kittiä, lasikuituverkkoa, vanhaa mattoliimaa ja lattiassa lattiatasoitetta.

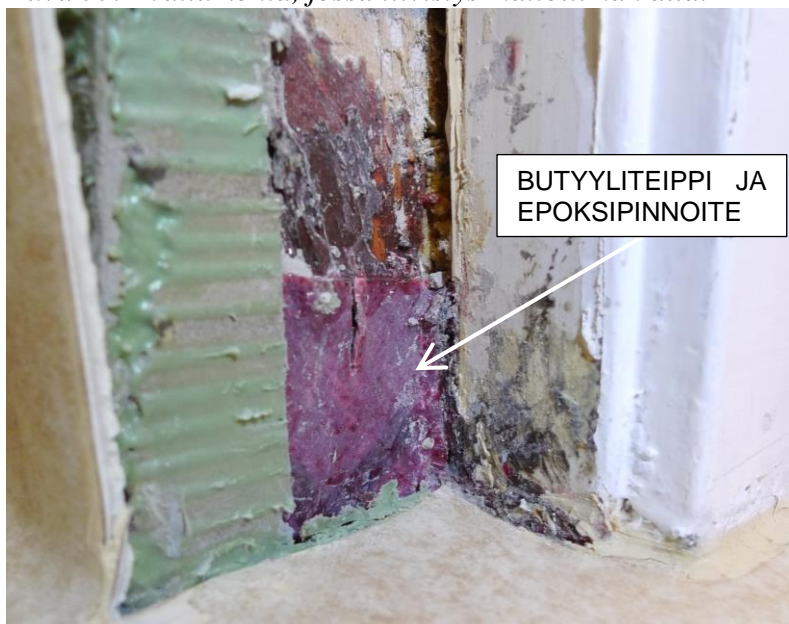
Liite 5. Kohde C, merkkiainekokeiden koejärjestelyt ja tulokset sekä rakenneavausten tulokset.



Kuva 32. Avattu epätiivis kohta tilassa 7 on merkitty ympyrällä (rakenneavaus 10).

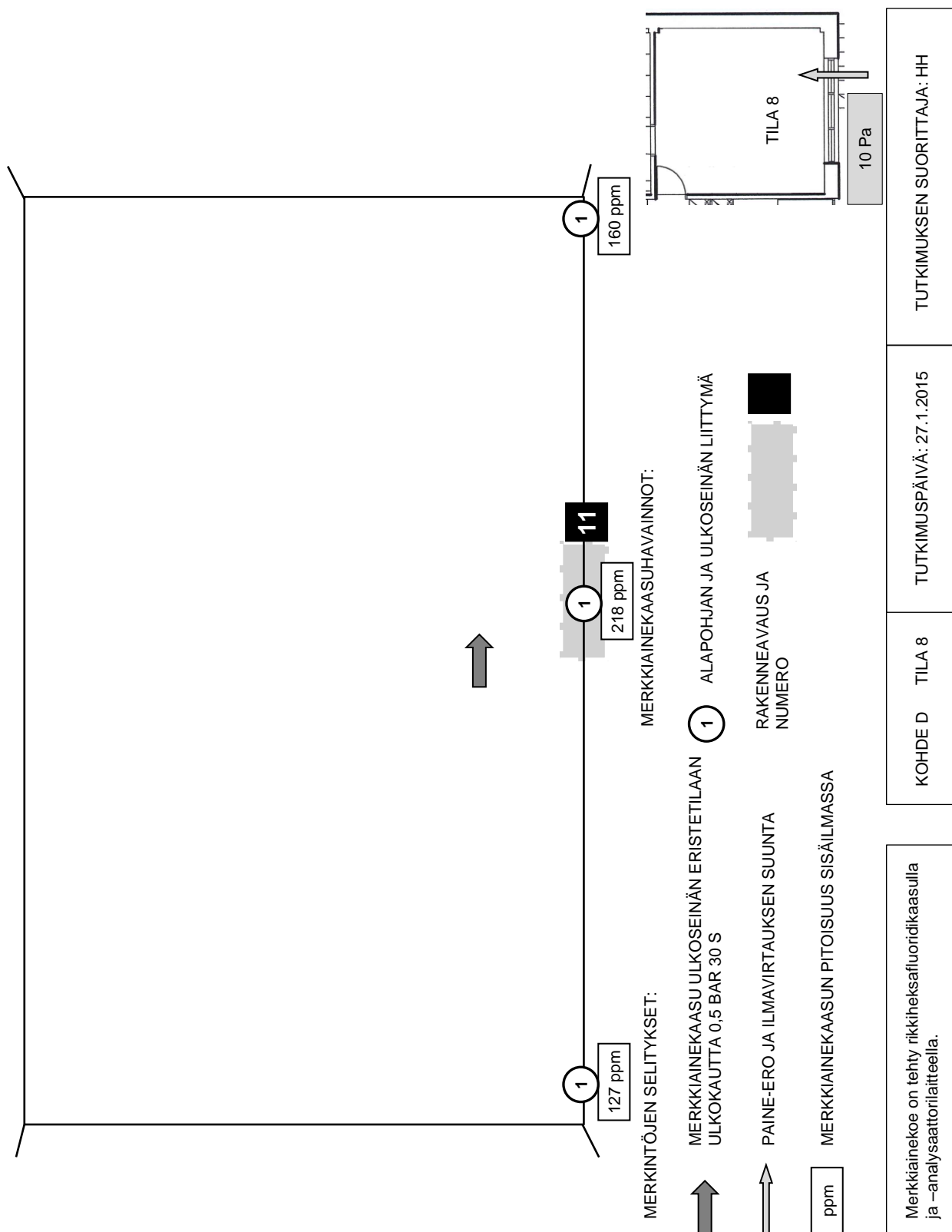


Kuva 33. Avattu kohta, jossa tiivistys mattoliiman alla.



Kuva 34. Butyyliteippi oli liimattu koolausspuun pintaan. Butyyliteipin päällä on epoksi-pinnoite.

Liite 6. Kohde D, merkkiainekokeiden koejärjestelyt ja tulokset sekä rakenneavausten tulokset.



Kuva 35. Merkkiainekokeen koejärjestely ja tulokset sekä rakenneavauksen kohta, tila 8.

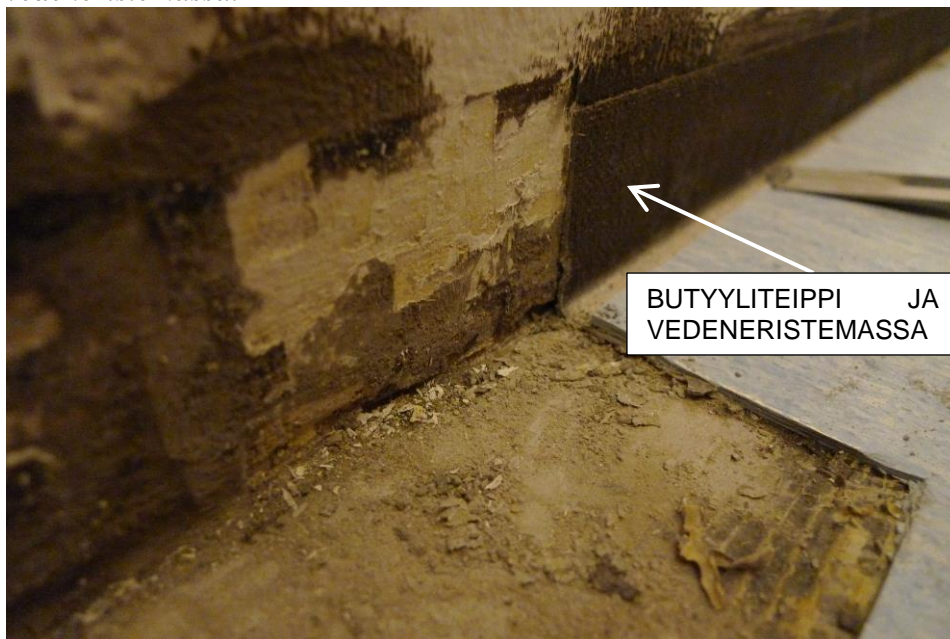
Liite 6. Kohde D, merkkiainekokeiden koejärjestelyt ja tulokset sekä rakenneavausten tulokset.



Kuva 36. Tilan 8 vuotava ulkoseinälinja.

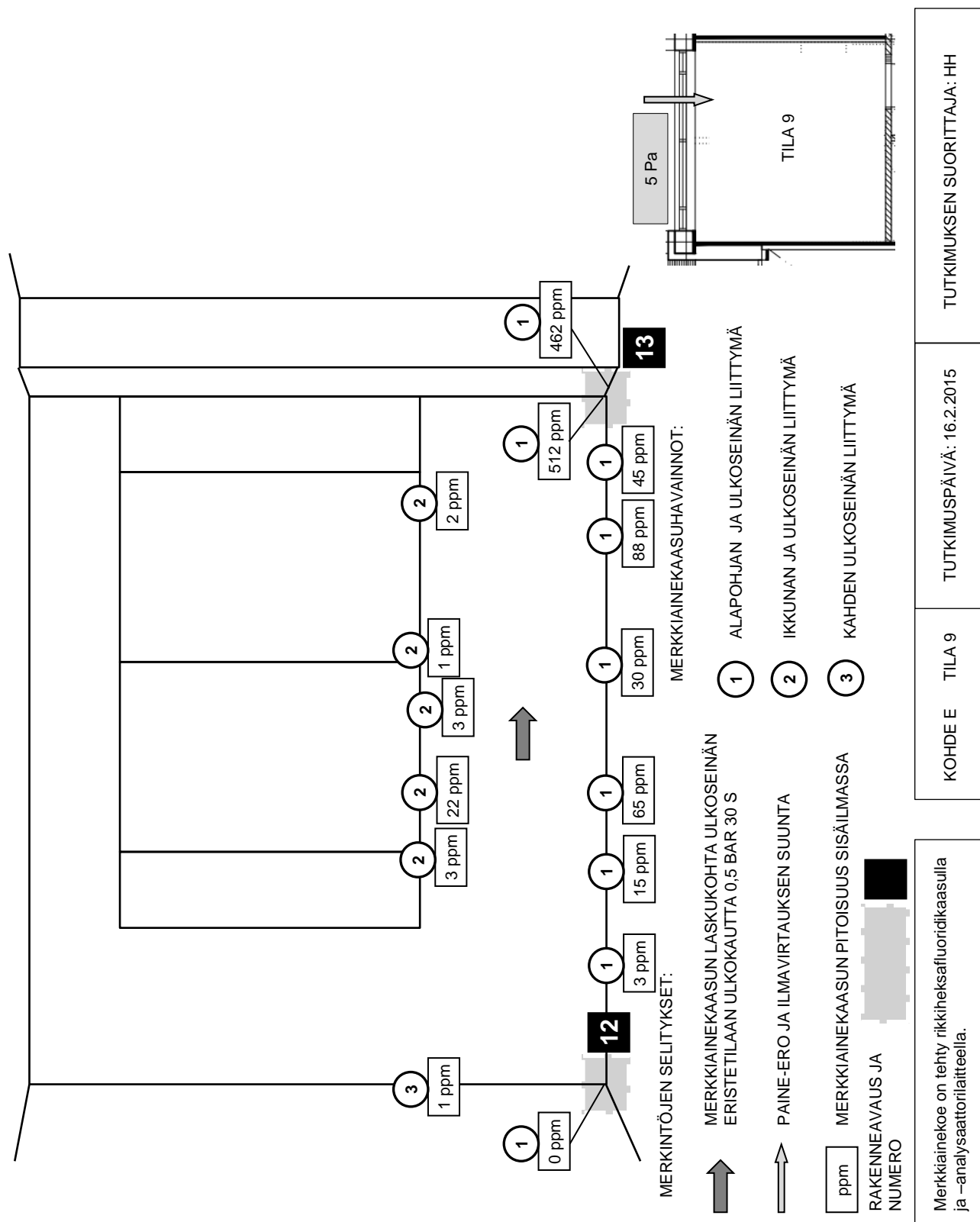


Kuva 37. Kohta, johon tehtiin rakenneavaus 11. Tiilien saumoja oli tasoitettu hieman. Varsinaisena tiivistyksenä oli liittymään asennettu butyyliteippi ja sen päälle levitetty vedeneristemassa.



Kuva 38. Butyyliteippi oli levitetty epätasaiselle pinnalle maalatulle tiiliseinälle ja tasoitetulle lattialle. Vedeneristemassa olisi pitänyt levittää butyyliteipin reunoille estämään niiden repsottamista, mutta massa oli levitetty lähinnä teipin päälle.

Liite 7. Kohde E, merkkiainekokeiden koejärjestelyt ja tulokset sekä rakenneavausten tulokset.

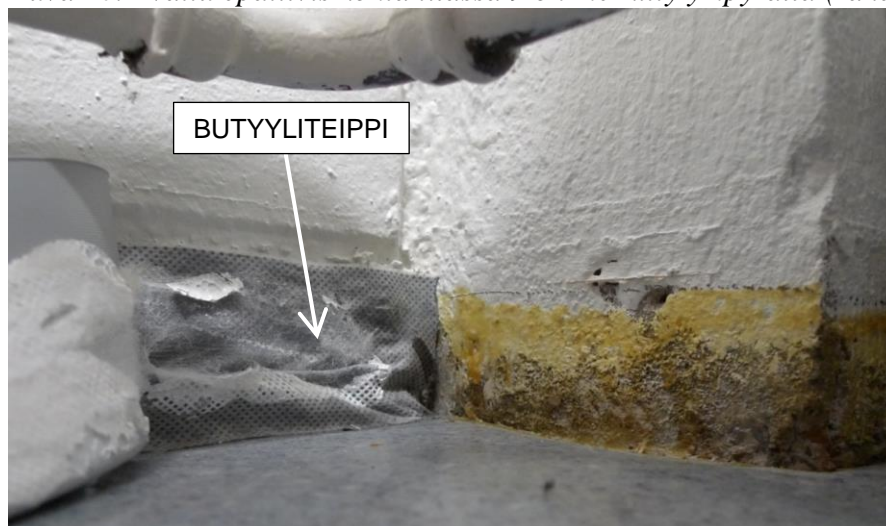


Kuva 39. Merkkiainekokeen koejärjestely ja tulokset sekä rakenneavausten kohdat, tila 9.

Liite 7. Kohde E, merkkiainekokeiden koejärjestelyt ja tulokset sekä rakenneavausten tulokset.



Kuva 40. Avattu epätiivis kohta tilassa 9 on merkitty ympyrällä (rakenneavaus 13).



Kuva 41. Avattu kohta pilarin juuressa. Butyyliteippi ei ole kunnolla kiinni seinässä eikä lattiassa. Teippi loppuu lisäksi pilariin, kun sen pitäisi jatkua ulkoseinän ja pilarin liittymän yli, sillä kohdassa on tiilisisäkuoren ja pilarin välinen epätiivis liitos.



Kuva 42. Butyyliteippi oli liimattu epätasaiselle ja puhdistamattomalle tiilipinnalle.

Liite 7. Kohde E, merkkiainekokeiden koejärjestelyt ja tulokset sekä rakenneavausten tulokset.



Kuva 43. Avattu tiivis kohta tilassa 9 on merkitty ympyrällä (rakenneavaus 12).

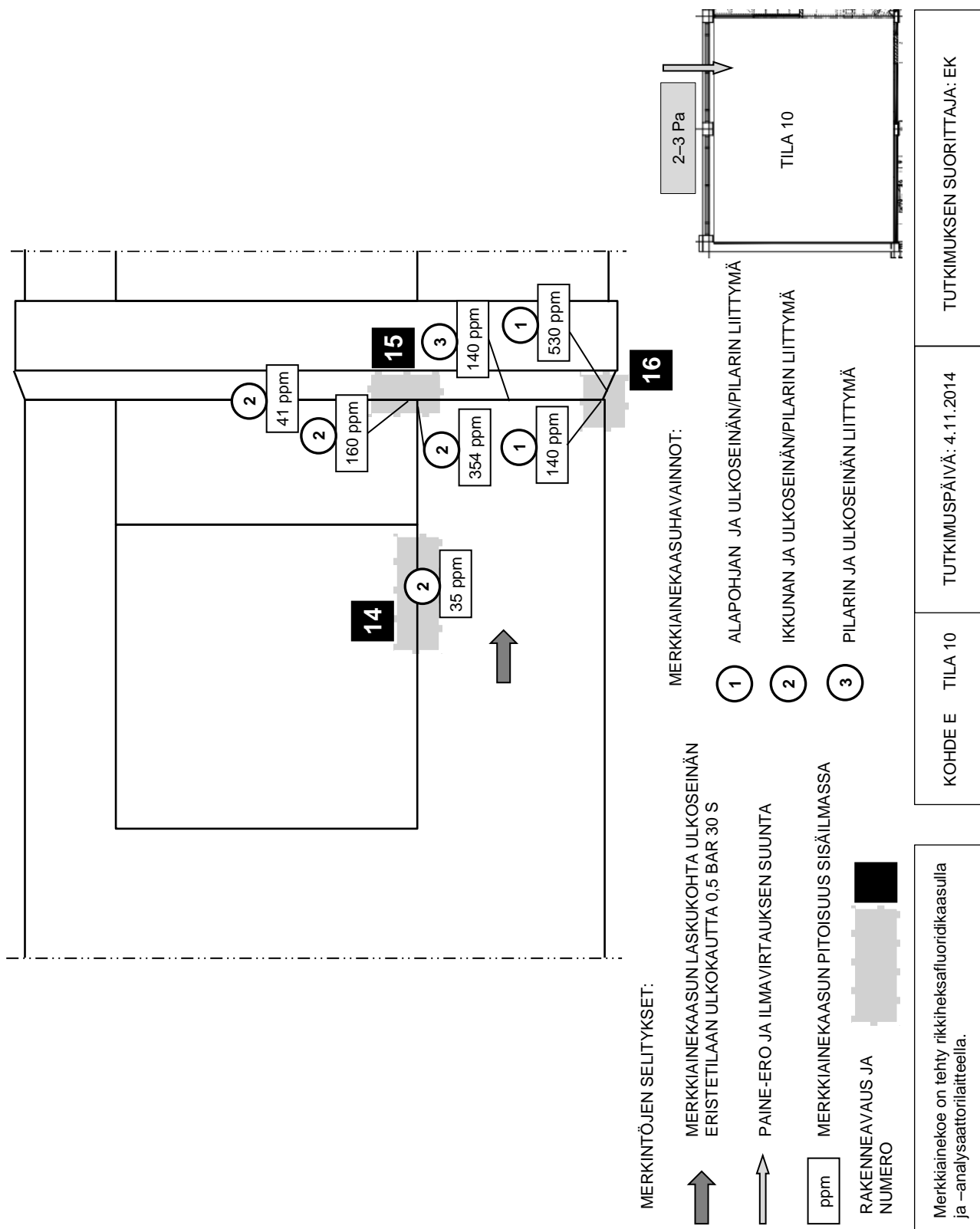


Kuva 44. Avattu kohta paikallavaluseinän juuressa. Tiivistyksen asennustapa on samanlainen kuin kuvien 40–42 pilarissa. Tiiliseinän liitos paikallavaluseinään on mitä ilmeisimmin ollut jo valmiiksi tiivis.



Kuva 45. Buttyliteippi oli liimattu epätasaiselle ja puhdistamattomalle tiilipinnalle.

Liite 7. Kohde E, merkkiainekokeiden koejärjestelyt ja tulokset sekä rakenneavausten tulokset.

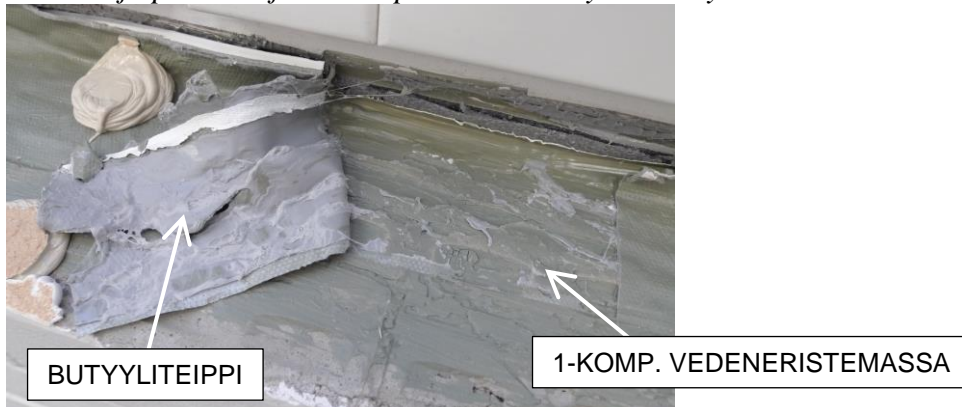


Kuva 46. Merkkiainekokeen koejärjestely ja tulokset sekä rakenneavausten kohdat, tila 10.

Liite 7. Kohde E, merkkiainekokeiden koejärjestelyt ja tulokset sekä rakenneavausten tulokset.



Kuva 47. Avatut epätiivit kohdat tilassa 10 on merkitty ympyröin. Metallinen ikkunalausta on jo poistettu ja sen alapuolinen tiivistys on näkyvissä.



Kuva 48. Rakenneavaus 14. Ikkunalaudan alapuolisten tiilien päälle oli levitetty epätasaisen laastikerroksen päälle yksikomponenttista vedeneristettä. Ikkunankarmin ja seinän liitoksessa oli tiivistyksen virkaa ajaneita, todennäköisesti jo vanhempaa kittiä ja solumuovin rippeitä. Butyyliteippi oli levitetty liittymän yli, ja sen päälle oli levitetty uusi kerros vedeneristemassaa. Vedeneristemassa oli paikoin halkeillut.

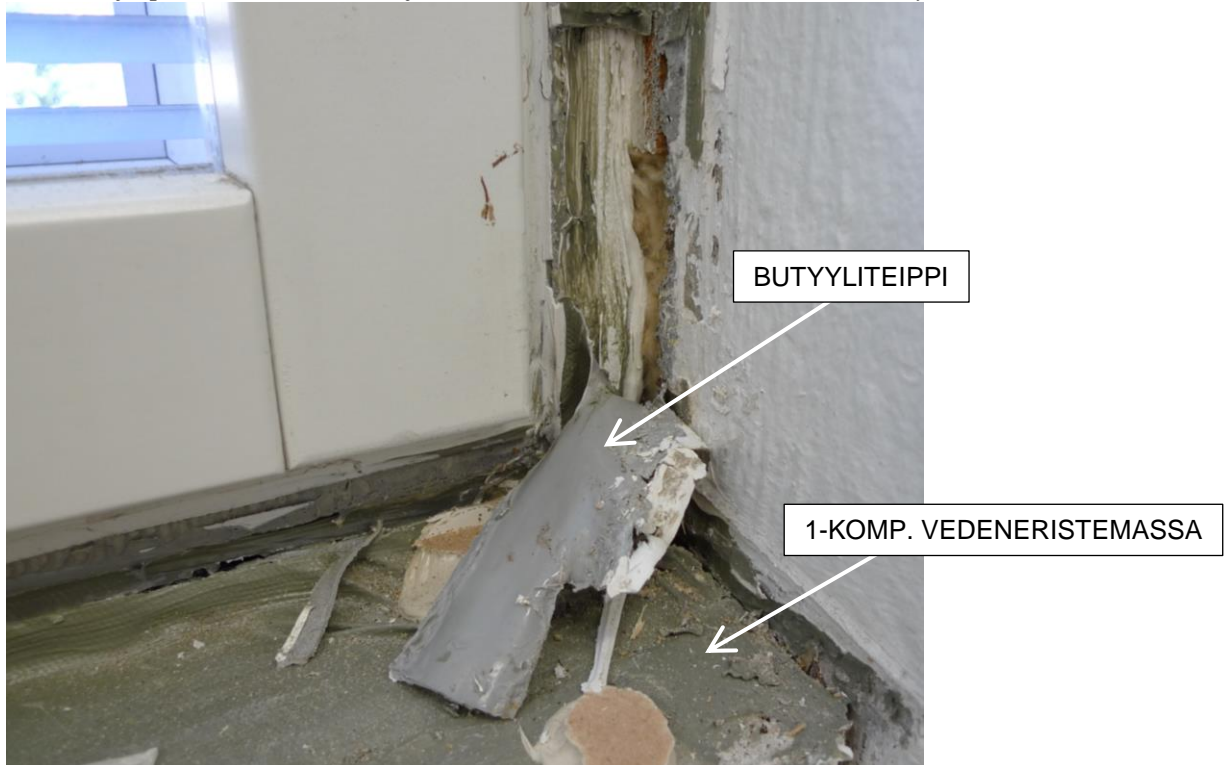


Kuva 49. Rakenneavaus 14. Liittymässä oli akryylimassaa.

Liite 7. Kohde E, merkkiainekokeiden koejärjestelyt ja tulokset sekä rakenneavausten tulokset.



Kuvat 50 ja 51. Rakenneavaus 15. Ikkunan ja pilarin välinen pystysuora peitelista paikkoillaan ja poistettuna. Pilarin ja tiilimuurauksen välissä ei ollut tiivistystä.



Kuva 52. Rakenneavaus 15. Ikkunan ja pilarin välissä oli villaeristettä ja akryylikittiä. Näiden päälle oli levitetty hieman yksikomponenttista vedeneristettä ja asennettu butyylliteippi. Teipin reunat oli kitattu akryylikitillä, joka oli kutistuessaan irrottanut teipin reunoja ikkunankarmista ja pilarista.

Liite 7. Kohde E, merkkiainekokeiden koejärjestelyt ja tulokset sekä rakenneavausten tulokset.



Kuva 53. Rakenneavaus 16. Ulkoseinän ja pilarin sekä alapohjan ja pilarin liittymän tiivistys ylhäältä kuvattuna.

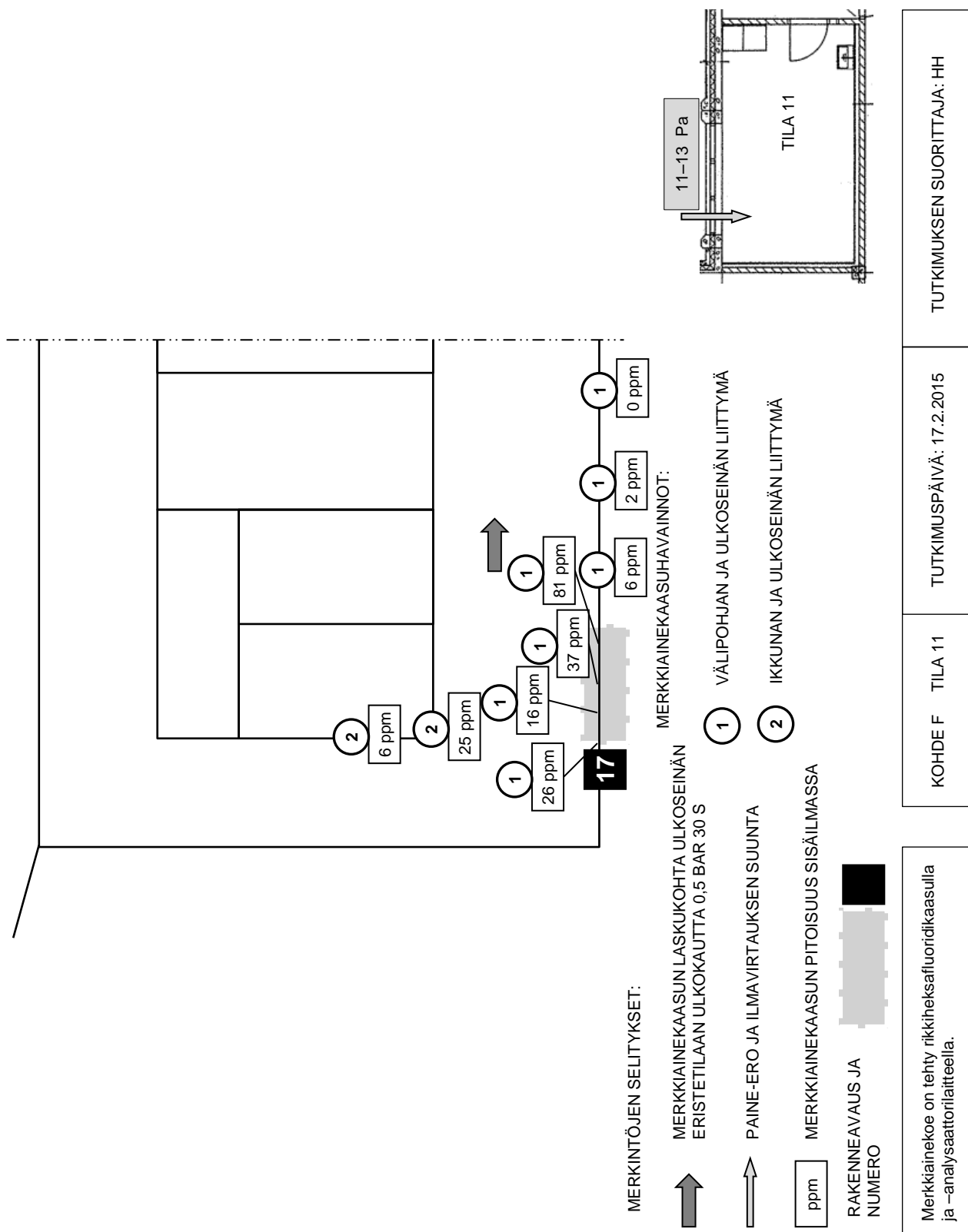


Kuva 54. Rakenneavaus 16. Tiivistys oli toteutettu levittämällä vanhan listaliiman päälle yksikomponenttista vedeneristettä.



Kuva 55. Rakenneavaus 16. Vedeneristeen kanssa oli käytetty jonkinlaista kuituvahvisteista vahvikenauhaa, mutta sitä ei ollut kaikkialla.

Liite 8. Kohde F, merkkiainekokeiden koejärjestelyt ja tulokset sekä rakenneavausten tulokset.



Kuva 56. Merkkiainekokeen koejärjestely ja tulokset sekä rakenneavauksen kohta, tila 11.

Liite 8. Kohde F, merkkiainekokeiden koejärjestelyt ja tulokset sekä rakenneavausten tulokset.



Kuva 57. Avattu epätiivis kohta tilassa 11 on merkitty ympyrällä (rakenneavaus 17).

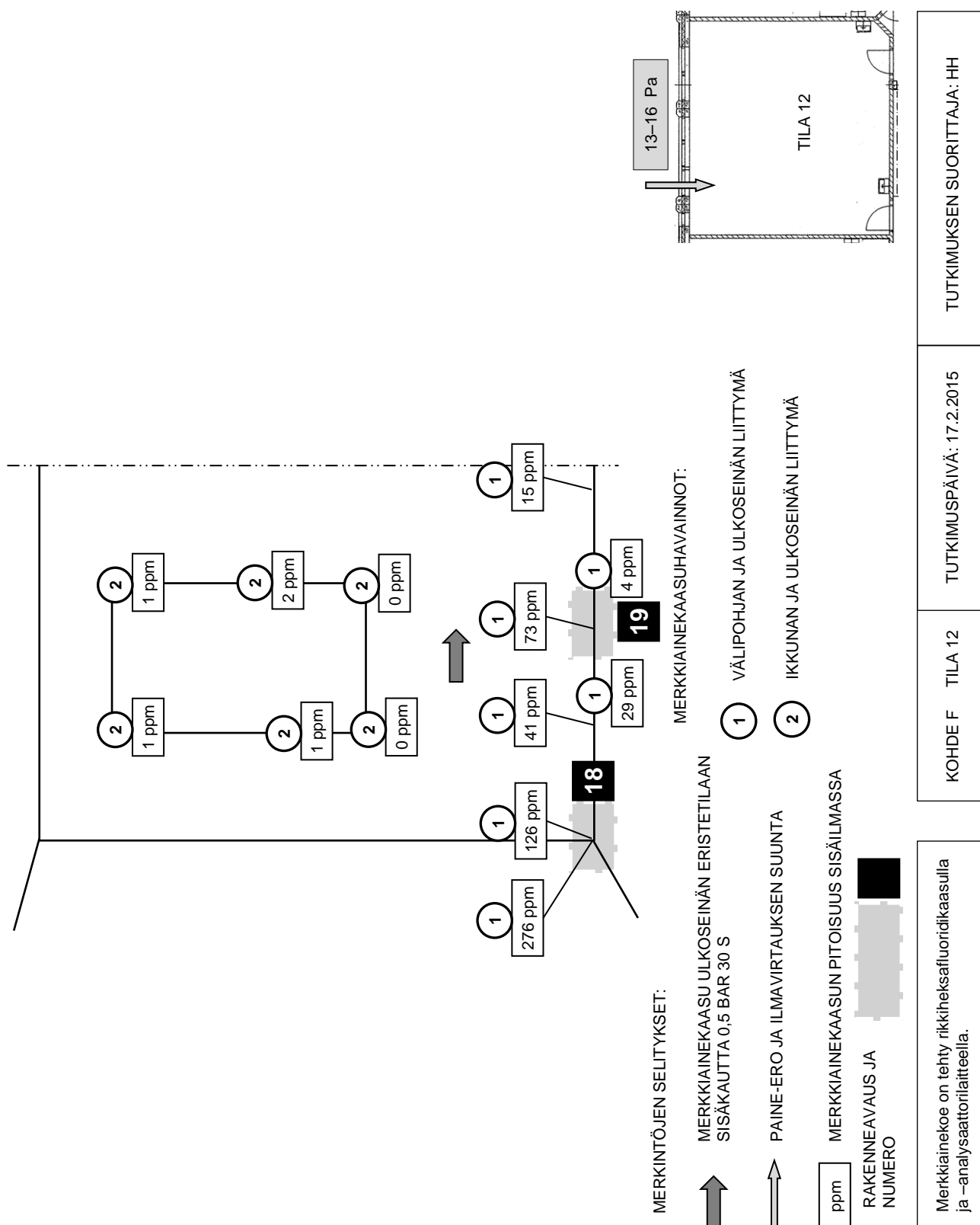


Kuva 58. Maalatulle betoniseinälle ja vinyylilaatoille oli asennettu butyyliteippi.



Kuva 59. Pinnat olivat tasaiset ja butyyliteipin tartuntapinta-ala molempiin pintoihin oli riittävä.

Liite 8. Kohde F, merkkiainekokeiden koejärjestelyt ja tulokset sekä rakenneavausten tulokset.



Kuva 60. Merkkiainekokeen koejärjestely ja tulokset sekä rakenneavausten kohdat, tila 12.

Liite 8. Kohde F, merkkiainekokeiden koejärjestelyt ja tulokset sekä rakenneavausten tulokset.



Kuva 61. Avatut epätiiväit kohdat tilassa 12 on merkitty ympyröin.



Kuva 62. Butyyliteipissä oli ryppyjä ja se ulottui liian pienelle alueelle tiiliväliseinällä (rakenneavaus 18).

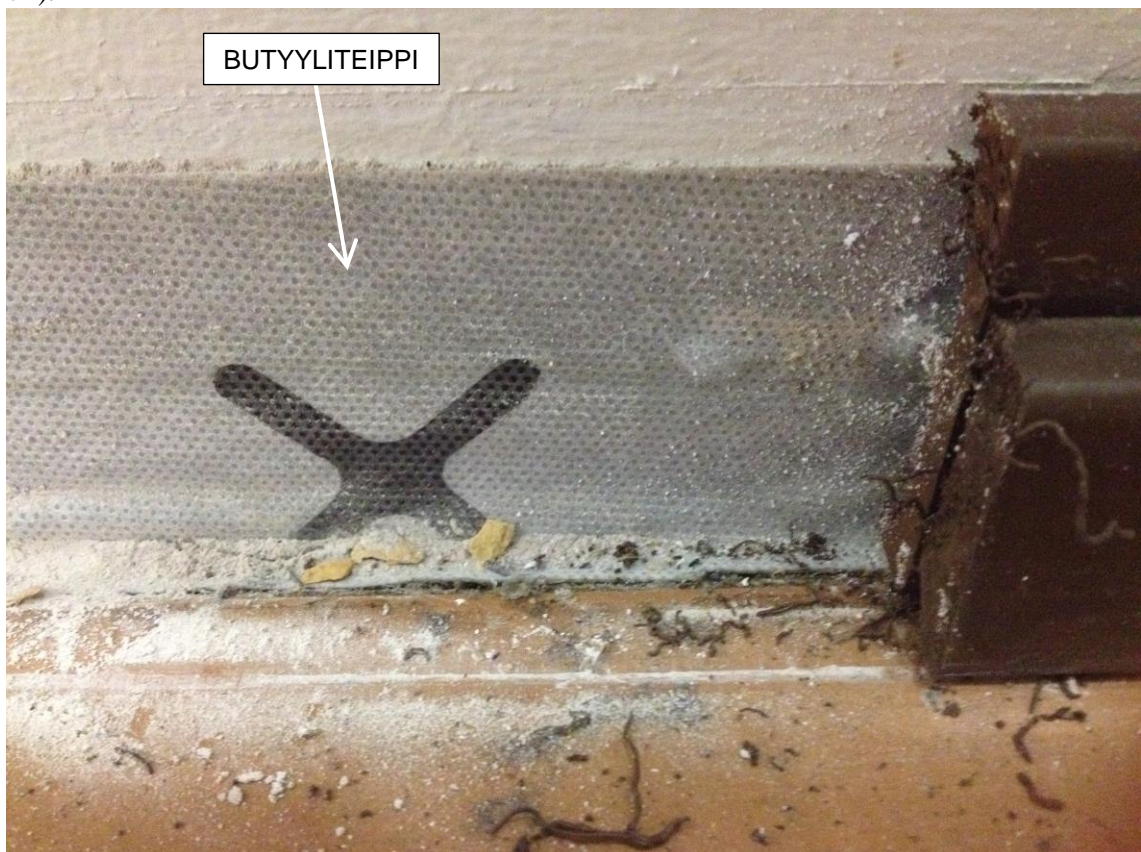


Kuva 63. Butyyliteippi oli asennettu epätasaiselle alustalle, jossa oli irtoroskaa. Teipin tartunta oli huono ja sen tartuntapinta-ala lattiaan oli olematon.

Liite 8. Kohde F, merkkiainekokeiden koejärjestelyt ja tulokset sekä rakenneavausten tulokset.

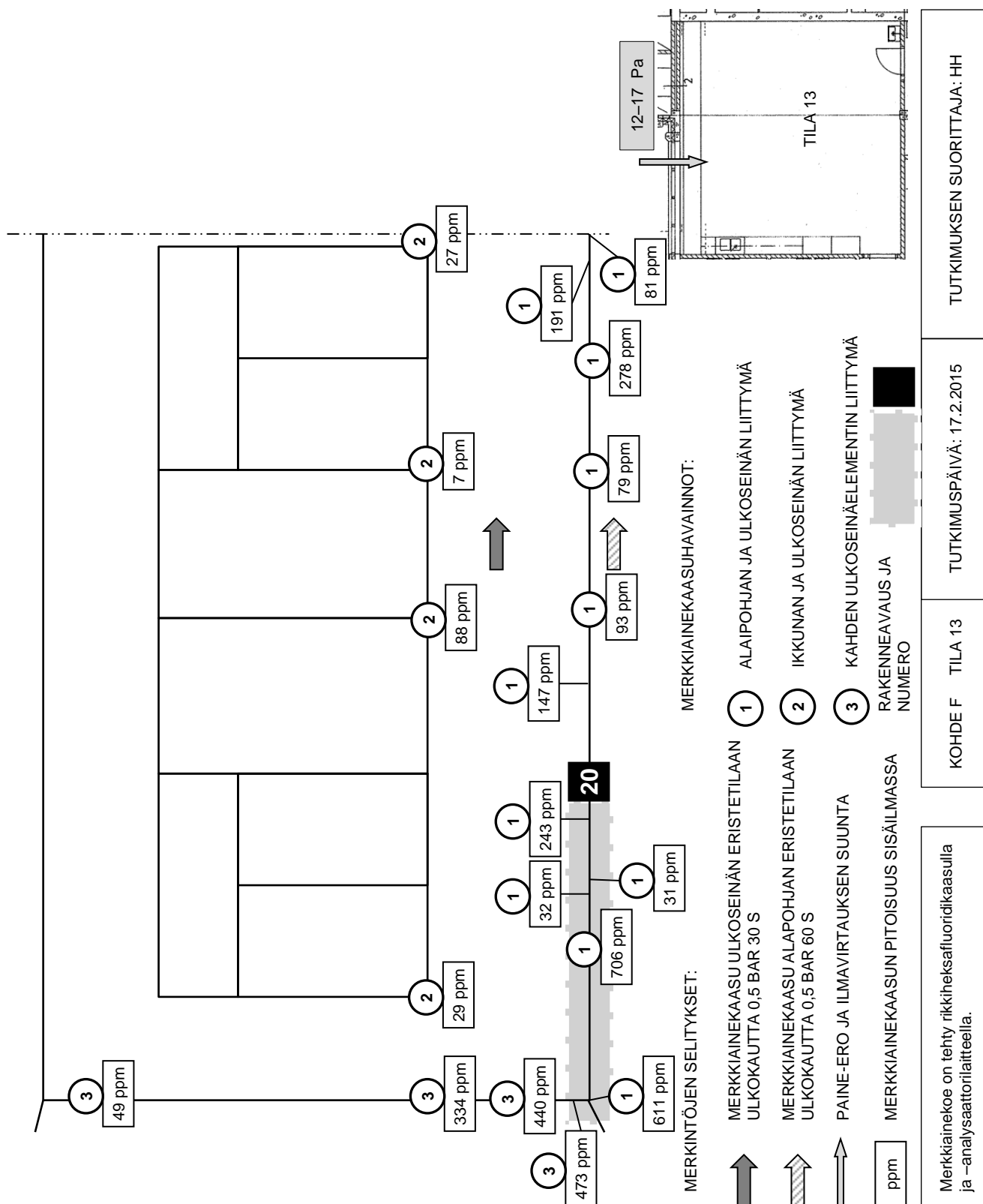


Kuva 64. Avattu epätiivis kohta tilassa 12 (rakenneavaus 19, sijainti merkitty kuvaan 61).



Kuva 65. Butyyliteipin tartuntapinta-ala lattiaan oli olematon.

Liite 8. Kohde F, merkkiainekokeiden koejärjestelyt ja tulokset sekä rakenneavausten tulokset.



Kuva 66. Merkkiainekokeen koejärjestely ja tulokset sekä rakenneavauksen kohta, tila 13.

Liite 8. Kohde F, merkkiainekokeiden koejärjestelyt ja tulokset sekä rakenneavausten tulokset.

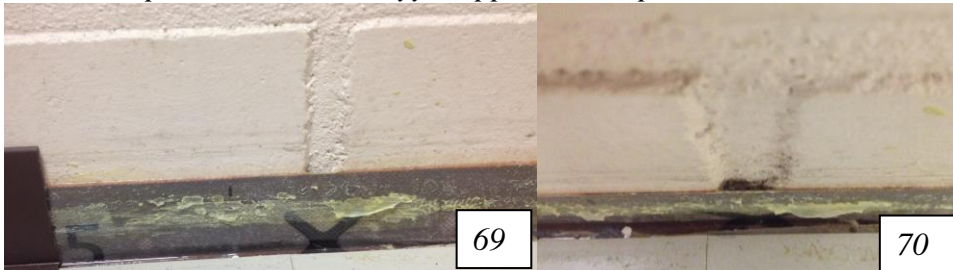


Kuva 67. Avattu epätiivis alue tilassa 13 (rakenneavaus 20). Alueelta on poistettu muoviset lattialistat.



BUTYYLITEIPPI JA EPOKSIPINNOITE

Kuva 68. Epätiivis nurkka. Butyyliteippiä ei ollut painettu kiinni nurkkaan.

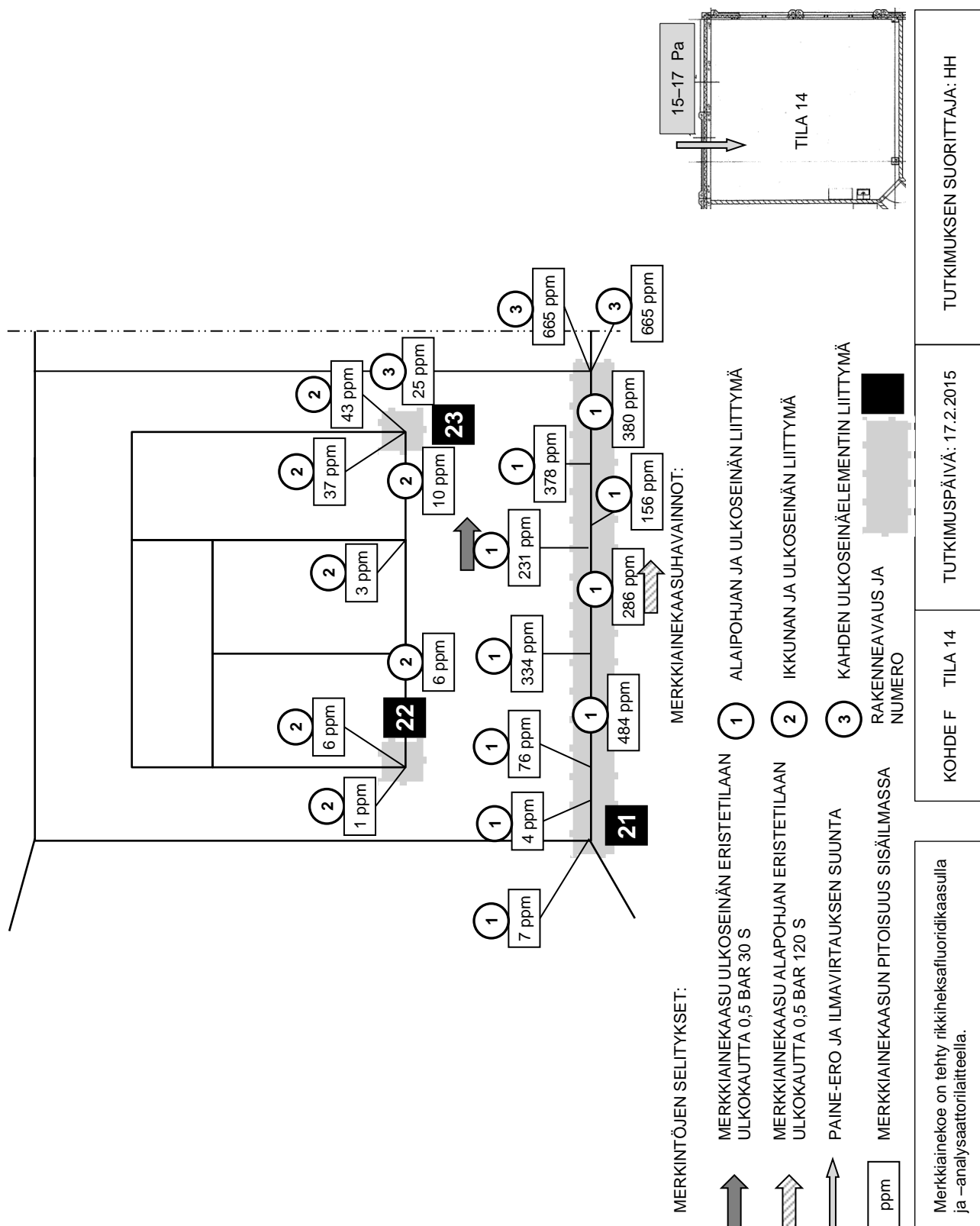


Kuvat 69 ja 70. Tiiliseinän saumoja ei ole tasoitettu ennen tivistystä, jolloin sauman ja butyyliteipin väliin on jäänyt rako.



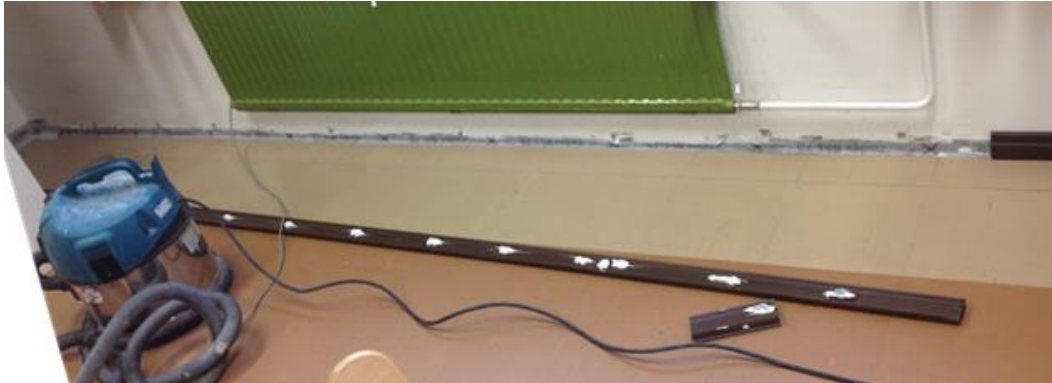
Kuva 71. Butyyliteippi suoralla seinälinjalla. Tässä teipin päälle levitetyn epoksipinnoitteen päällä on maali ja lattialistan liimaa. Kuvassa vasemmalla myös yksi butyyliteipin alle oli jääneistä täyttämättömistä koloista.

Liite 8. Kohde F, merkkiainekokeiden koejärjestelyt ja tulokset sekä rakenneavausten tulokset.



Kuva 72. Merkkiainekokeen koejärjestely ja tulokset sekä rakenneavausten kohdat, tila 14.

Liite 8. Kohde F, merkkiainekokeiden koejärjestelyt ja tulokset sekä rakenneavausten tulokset.



Kuva 73. Avattu epätiivis seinälinja tilassa 14 (rakenneavaus 21).



Kuva 74. Butyyliteipin alusta nurkassa oli puhdistamaton ja epätasainen. Epätasaisesta tartuntapinnasta johtuen teippi lähti irrotettaessa helposti irti.



Kuva 75. Nurkassa oli vanhaa vinyylilaatan liimaa, maalia ja paljasta betonia.

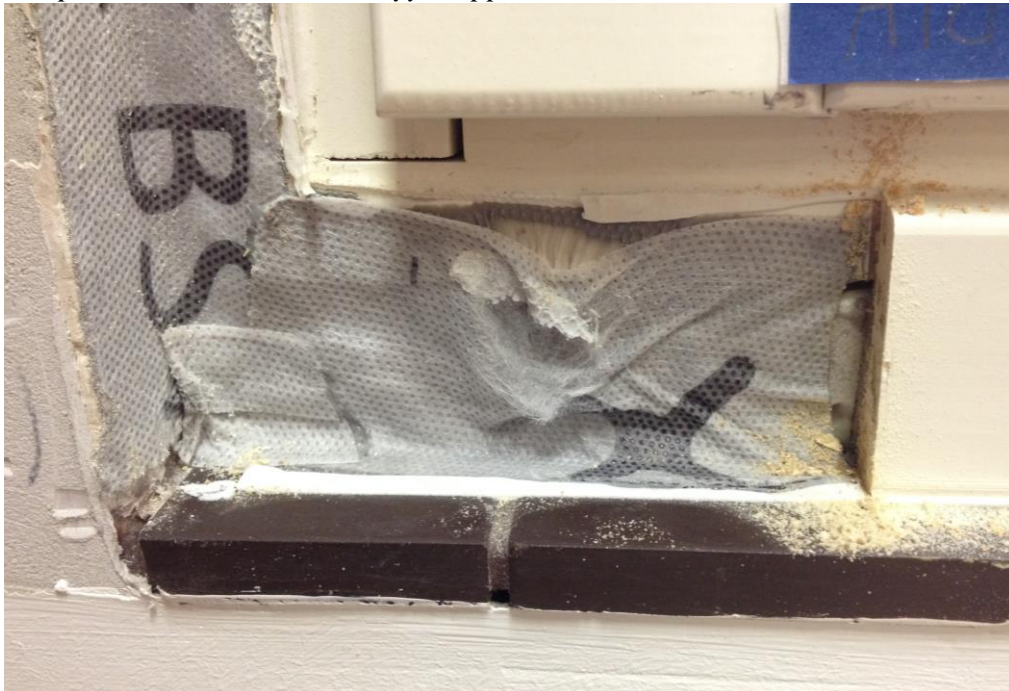


Kuva 76. Seinälinjalla alusta oli nurkan tavoin epätasainen (rakenneavaus 21). Kuvasta näkee, että butyyliteipin ja vinyylilaatan välinen tartuntapinta-ala on ollut hyvin pieni.

Liite 8. Kohde F, merkkiainekokeiden koejärjestelyt ja tulokset sekä rakenneavausten tulokset.



Kuvat 77 ja 78. Avattu tiivis ikkunan ja ulkoseinän liittymä tilassa 14 (rakenneavaus 22). Ikkunan peitelistan alla oli osin maalatulle betoniseinälle ja osin maalatulle ikkunan puukarmille asennettu butyyliteippi.



Kuva 79. Butyyliteippi oli ikkunan alareunassa liimattu osin maalatulle ikkunankarmille ja osin lasittamattomalle keraamiselle laatalle. Teippi ei jatku yhtenäisenä nurkan yli, eikä limitystä ole tehty. Kuvan oikeassa laidassa näkyvä viilto teipissä aiheutui listan leikkaamisesta rakenneavauksen yhteydessä.

Liite 8. Kohde F, merkkiainekokeiden koejärjestelyt ja tulokset sekä rakenneavausten tulokset.

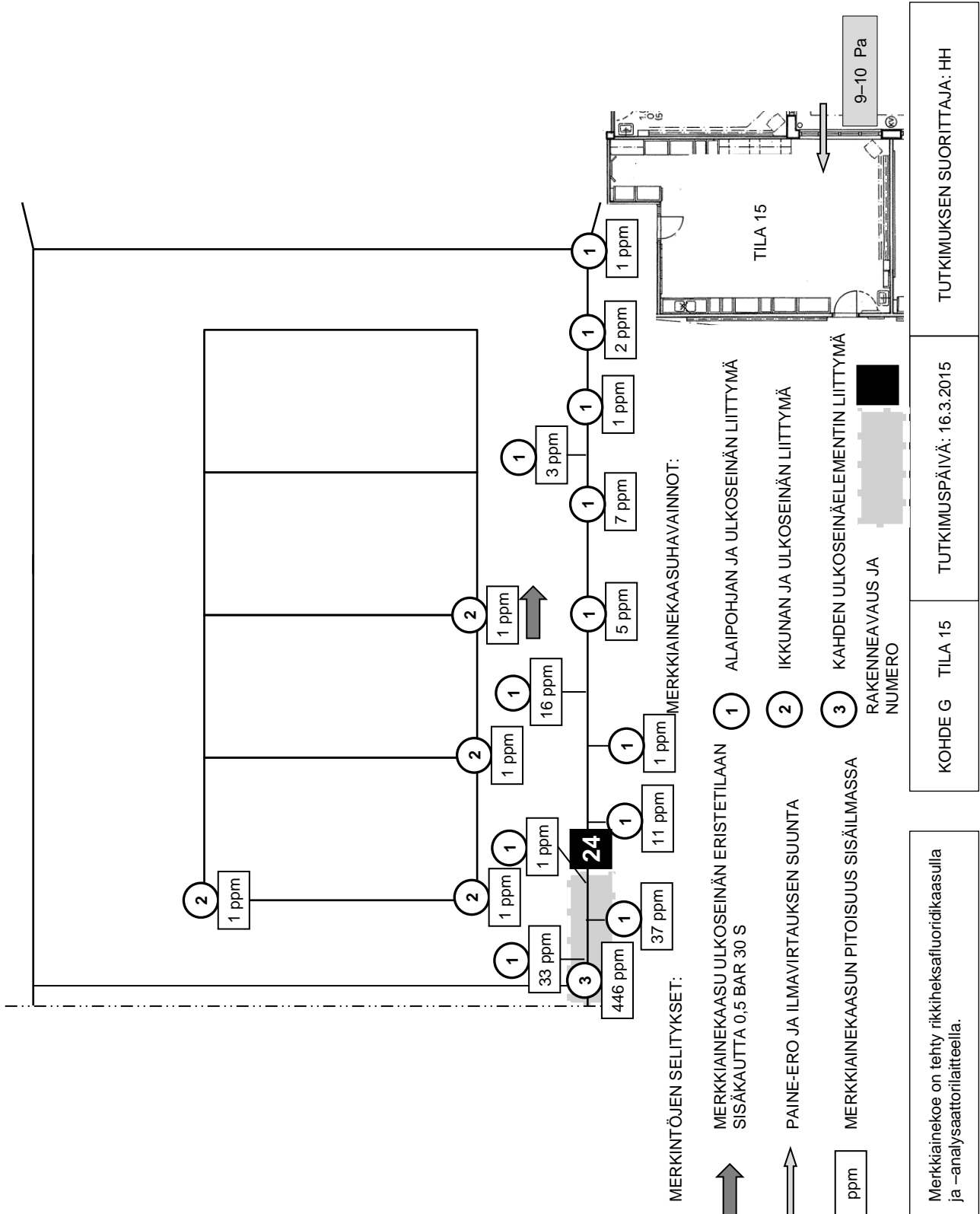


Kuva 80. Avattu epätiivis ikkunan ja ulkoseinän liittymä tilassa 14 (rakenneavaus 23). Butyyliteippi oli asennettu kuten kuvissa 77–79 esitetystä tiiviissä liittymässä.



Kuva 81. Ikkunan ja ulkoseinän liittymä oli eristetty polyuretaanivaahdolla. Butyyliteippi oli liimattu puukolla leikatun vaahdon päälle. Teippi ulottui lisäksi maalatulle karmipuulle ja vaakasuoralla osalla lasittamattomalle laatalle, pystysuoralla osalla osittain maalatulle betonille.

Liite 9. Kohde G, merkkiainekokeiden koejärjestelyt ja tulokset sekä rakenneavausten tulokset.



Kuva 82. Merkkiainekokeen koejärjestely ja tulokset sekä rakenneavauksen kohta, tila 15.

Liite 9. Kohde G, merkkiainekokeiden koejärjestelyt ja tulokset sekä rakenneavausten tulokset.



Kuva 83. Avattu epätiivis liittymä tilassa 15 on merkitty ympyrällä (rakenneavaus 24).

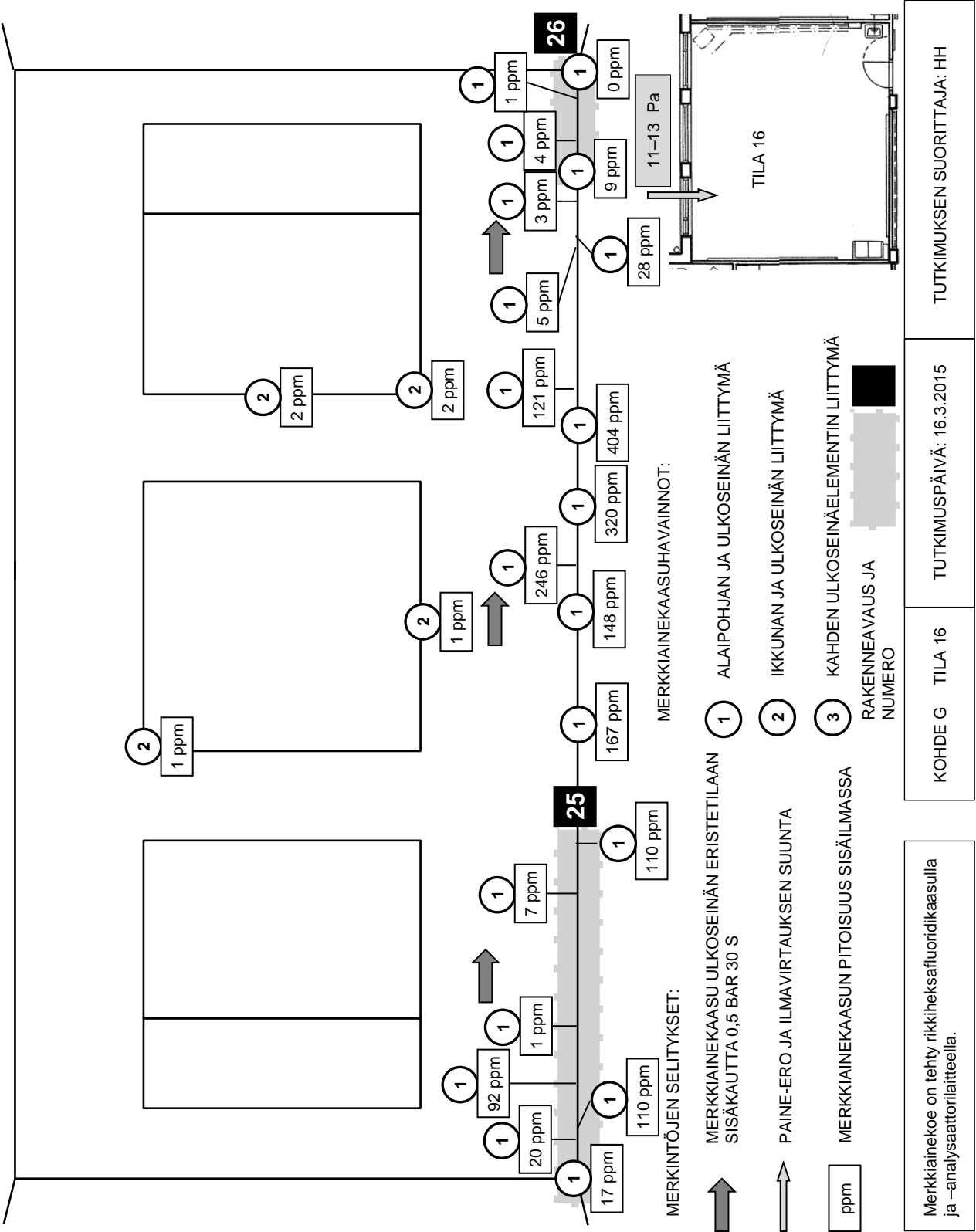


Kuva 84. Liittymässä butyyliteippi oli liimattu epätasaiselle ja puhdistamattomalle seinälle ja linoleum-lattiamaton päälle.



Kuva 85. Teipin tartuntapintana seinällä oli osittain maalattu betoni ja vanhaa listaliimaa.

Liite 9. Kohde G, merkkiainekokeiden koejärjestelyt ja tulokset sekä rakenneavausten tulokset.

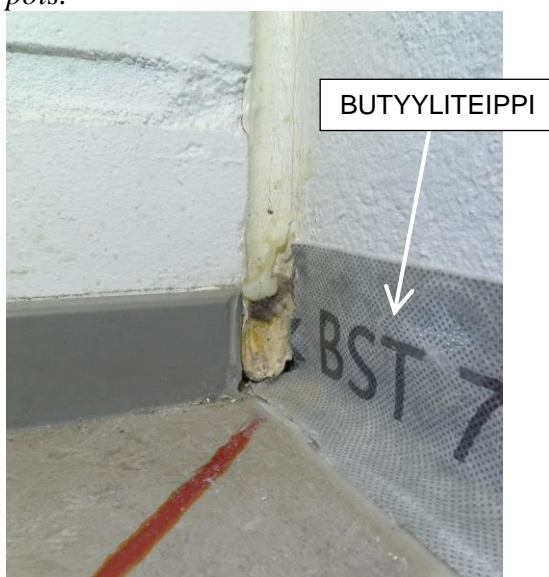


Kuva 86. Merkkiainekokeen koejärjestely ja tulokset sekä rakenneavausten kohdat, tila 16.

Liite 9. Kohde G, merkkiainekokeiden koejärjestelyt ja tulokset sekä rakenneavausten tulokset.



Kuva 87. Avattu epätiivis seinälinja tilassa 16 (rakenneavaus 25). Lattialista on otettu pois.



Kuva 88. Butyyliteippi ei ulottunut nurkkaan asti. Nurkassa on kittaus, joka on todennäköisesti butyyliteippiivistystä vanhempi.



Kuva 89. Nurkka oli silminnähden epätiivis kittauksesta huolimatta. Seinän ja lattian välistä rakoa ei ole täytetty. Butyyliteippi on asennettu epätasaiselle alustalle.

Liite 9. Kohde G, merkkiainekokeiden koejärjestelyt ja tulokset sekä rakenneavausten tulokset.



Kuva 90. Avattu tiivis seinälinja tilassa 16 (rakenneavaus 26). Lattialista on otettu pois.



Kuva 91. Butyyliteippi on tyydytty asentamaan väliseinän jalkalistan päälle, eikä se ulotu nurkkaan saakka. Butyyliteipissä on myös ryppyjä huonon tartunnan ja huolimattoman asennuksen vuoksi.



Kuva 92. Seinäpinnalla on jäämiä vanhoista liimoista. Pintalaatan ja seinän välissä on näkyvä rako. Butyyliteippi lähti helposti irti, sillä sen tartunta oli huono niin seinään kuin lattiaan. Teipin reuna oli saumattu lattiaan silikonimassalla.

Liite 10. Tartuntavetolujuusmittarin näyttämiä vastaavat todelliset arvot.

Taulukko 3. Hydr jaws Limited -irtivetolaitteen kalibrointitodistuksen mukaiset mittarin näyttämää vastaavat todelliset arvot.

| Näyttämä (kN) | Todellinen arvo (kN) | Todellinen arvo (kN) | Todellinen arvo (kN) | Virhe (%) | Todellisten arvojen keskiarvo (kN) |
|------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------|---------------------------------------|
| 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | - | 0,00 |
| 0,5 | 0,39 | 0,36 | 0,34 | 27,3 | 0,36 |
| 1,0 | 0,90 | 0,87 | 0,86 | 12,3 | 0,88 |
| 2,0 | 1,87 | 1,85 | 1,83 | 7,5 | 1,85 |
| 3,0 | 2,92 | 2,86 | 2,88 | 3,8 | 2,89 |
| 4,0 | 3,93 | 3,88 | 3,88 | 2,6 | 3,9 |
| 5,0 | 4,93 | 4,86 | 4,89 | 2,1 | 4,89 |
| 6,0 | 5,93 | 5,87 | 5,84 | 2,0 | 5,88 |
| 7,0 | 6,93 | 6,89 | 6,90 | 1,3 | 6,91 |
| 8,0 | 7,95 | 7,93 | 7,88 | 1,0 | 7,92 |
| 9,0 | 8,93 | 8,91 | 8,88 | 1,0 | 8,91 |
| 10,0 | 9,91 | 9,87 | 9,87 | 1,2 | 9,88 |

Todellisen voiman arvot kullakin näyttämävälillä saadaan todellisten arvojen keskiarvoista lineaarisesti interpoloimalla yhtälön (4) mukaan.

$$t(n_{ala} \leq x \leq n_{ylä}) = \frac{t_{ylä} - t_{ala}}{n_{ylä} - n_{ala}} \cdot x + t_{ala} - \frac{t_{ylä} - t_{ala}}{n_{ylä} - n_{ala}} \cdot n_{ala} \quad (4)$$

missä t on voiman todellinen arvo välillä $n_{ala} \leq x \leq n_{ylä}$ [kN]
 n_{ala} on näyttämävälän alaraja ja $n_{ylä}$ yläraja [kN]
 x on mittarin näyttämä [kN]
 t_{ala} on n_{ala} :aa vastaava todellinen arvo [kN]
 $t_{ylä}$ on $n_{ylä}$:ää vastaava todellinen arvo [kN]

Yhtälön mukaisesti todellinen arvo esimerkiksi mittarin näyttämälle $x=1,5$ kN on

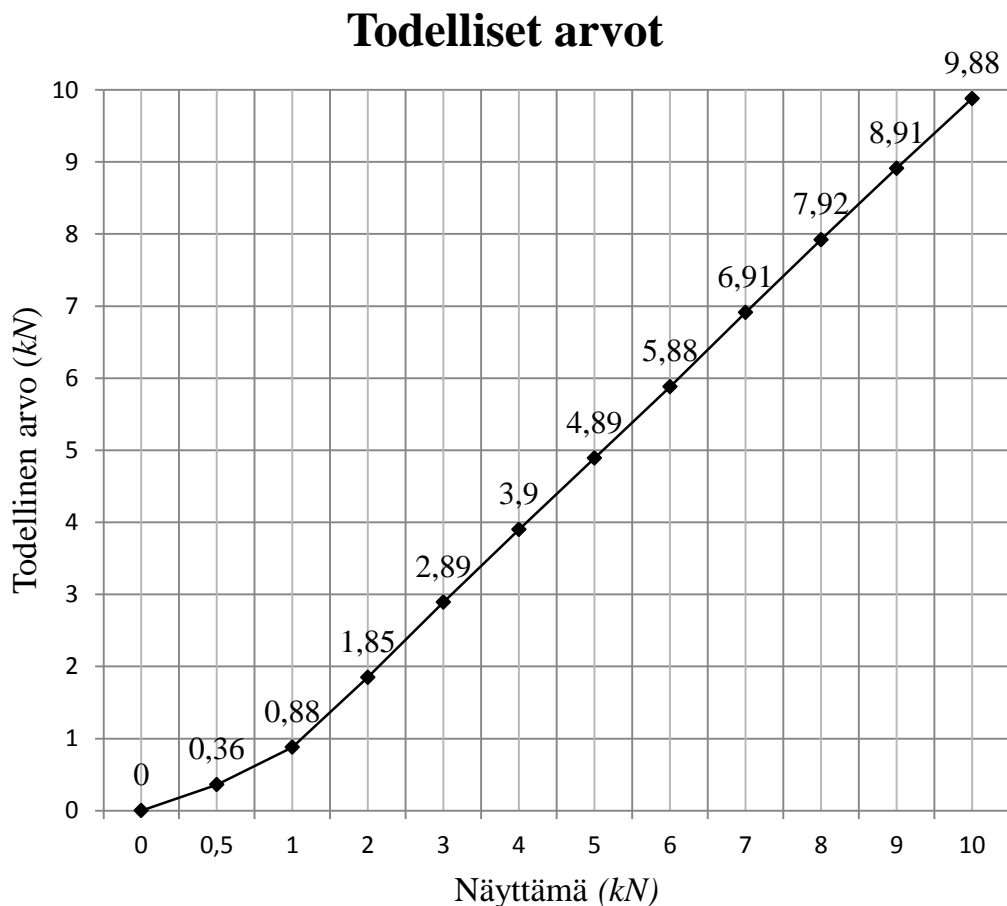
$$t(1 \text{ kN} \leq x \leq 2 \text{ kN}) = \frac{1,85 - 0,88}{2 - 1} \cdot 1,5 \text{ kN} + 0,88 \text{ kN} - \frac{1,85 - 0,88}{2 - 1} \cdot 1 \text{ kN} = 1,4 \text{ kN}.$$

Näyttämävälit ja niitä vastaavat todelliset arvot on esitetty taulukossa 4.

Liite 10. Tartuntavetolujuusmittarin näyttämiä vastaavat todelliset arvot.

Taulukko 4. Tartuntavetolujuusmittarin näyttämävälit, niitä vastaavat todelliset arvot sekä interpolointiyhtälöt. Interpolointiyhtälöt on esitetty myös graafisessa muodossa.

| näyttämäväli $n_{ala} \leq x \leq n_{ylä} \text{ (kN)}$ | todelliset arvot $t_{ala} \leq t \leq t_{ylä} \text{ (kN)}$ | Interpolointiyhtälö |
|--|--|---------------------|
| $0 \leq x \leq 0,5$ | $0 \leq t \leq 0,36$ | $t = 0,72x - 0$ |
| $0,5 \leq x \leq 1,0$ | $0,36 \leq t \leq 0,88$ | $t = 1,04x - 0,16$ |
| $1,0 \leq x \leq 2,0$ | $0,88 \leq t \leq 1,85$ | $t = 0,97x - 0,09$ |
| $2,0 \leq x \leq 3,0$ | $1,85 \leq t \leq 2,89$ | $t = 1,04x - 0,23$ |
| $3,0 \leq x \leq 4,0$ | $2,89 \leq t \leq 3,90$ | $t = 1,01x - 0,14$ |
| $4,0 \leq x \leq 5,0$ | $3,90 \leq t \leq 4,89$ | $t = 0,99x - 0,06$ |
| $5,0 \leq x \leq 6,0$ | $4,89 \leq t \leq 5,88$ | $t = 0,99x - 0,06$ |
| $6,0 \leq x \leq 7,0$ | $5,88 \leq t \leq 6,91$ | $t = 1,03x - 0,3$ |
| $7,0 \leq x \leq 8,0$ | $6,91 \leq t \leq 7,92$ | $t = 1,01x - 0,16$ |
| $8,0 \leq x \leq 9,0$ | $7,92 \leq t \leq 8,91$ | $t = 0,99x$ |
| $9,0 \leq x \leq 10,0$ | $8,91 \leq t \leq 9,88$ | $t = 0,97x + 0,18$ |



Liite 11. Kappaleiden pinnoitekerroksia vastaavat kirjaintunnukset.

Taulukko 5. Kappaleiden pinnoitekerroksia vastaavat kirjaintunnukset. Pinnoiteyhdistelmien murtumatyypit on ilmoitettu kirjaintunnuksin taulukossa 8 sekä liitteen 12 taulukoissa 6, 7 ja 8.

| Kappale | A | B | C | D | E |
|---------|-------------------|-------------------|-----------------------|--------------------|-----------|
| B1A | betoni | Ardex 8+9 | Ardex SK 12 | Ardex 8+9 | |
| B2A | betoni | Ardex P 51 | Ardex 8+9 | Ardex STB 15-75 | Ardex 8+9 |
| L1A | lattiatasoite | Ardex 8+9 | Ardex SK 12 | Ardex 8+9 | |
| L2A | lattiatasoite | Ardex P 51 | Ardex 8+9 | Ardex STB 15-75 | Ardex 8+9 |
| L3A | lattiatasoite | Ardex P 51 | Ardex STB 15-75 | | |
| S1A | seinätasoite | Ardex P 51 | Ardex 8+9 | Ardex SK 12 | Ardex 8+9 |
| P1A | höylätty puu | Ardex 8+9 | Ardex SK 12 | Ardex 8+9 | |
| P2A | höylätty puu | Ardex P 51 | Ardex 8+9 | Ardex SK 12 | Ardex 8+9 |
| P3A | höylätty puu | Ardex P 51 | Ardex STB 15-75 | | |
| P4A | höylätty puu | Ardex STB 15-75 | | | |
| M1A | maalattu puu | Ardex 8+9 | Ardex SK 12 | Ardex 8+9 | |
| M2A | maalattu puu | Ardex STB 15-75 | | | |
| R1A | ruostumaton teräs | Ardex STB 15-75 | | | |
| B1B | betoni | Codex BST 75 | | | |
| B2B | betoni | Blowerproof | | | |
| L1B | lattiatasoite | PE 460 New | | | |
| L2B | lattiatasoite | Codex BST 75 | | | |
| L3B | lattiatasoite | Blowerproof | | | |
| P1B | höylätty puu | PE 460 New | vetonastan liimaus | | |
| P2B | höylätty puu | Codex BST 75 | | | |
| P3B | höylätty puu | Blowerproof | | | |
| M1B | maalattu puu | Codex BST 75 | | | |
| M2B | maalattu puu | Blowerproof | | | |
| B1C | betoni | TKR Peruspinnoite | TKR Hyytelö | TKR Hyytelö | |
| P1C | höylätty puu | TKR Peruspinnoite | TKR Hyytelö | TKR Hyytelö | |
| M1C | maalattu puu | TKR Peruspinnoite | TKR Hyytelö | TKR Hyytelö | |

Liite 12. Tartuntavetolujuuskokeiden tulokset.

Taulukko 6 (jatkuu seuraavalla sivulla). Tartuntavetolujuuskokeiden tulokset (Ardex Oy:n pinnoitustuotteet). Murtopintojen suhteelliset osuudet on ilmoitettu 5 prosenttiyksikön tarkkuudella. Murtumatyyppi-sarakkeen pinnoitekerrokset on esitetty liitteen 11 taulukossa 5.

| Kappale | Mittaus- kohta | Murtovoiman | | Pinta-ala (mm ²) | Murtolujuuden todellinen arvo (MPa) |
|---------|-------------------|-------------------------|------------------------------|---------------------------------|---|
| | | todellinen arvo (kN) | Murtumatyyppi | | |
| B1A | 1/4 | 0,8 | C 100 % | 1678 | 0,5 |
| | 2/4 | 0,7 | C 100 % | 1678 | 0,4 |
| | 3/4 | 0,7 | C 100 % | 1678 | 0,4 |
| | 4/4 | 0,7 | C 100 % | 1678 | 0,4 |
| B2A | 1/4 | 1,0 | D 100 % | 1963 | 0,5 |
| | 2/4 | 1,0 | D 100 % | 1963 | 0,5 |
| | 3/4 | - ¹⁾ | - ¹⁾ | 1963 | - ¹⁾ |
| | 4/4 | 1,3 | D 100 % | 1963 | 0,6 |
| L1A | 1/4 | 1,1 | C 100 % | 2500 | 0,4 |
| | 2/4 | 1,0 | C 100 % | 2500 | 0,4 |
| | 3/4 | 1,2 | C 100 % | 2500 | 0,5 |
| | 4/4 | 1,0 | C 100 % | 2500 | 0,4 |
| L2A | 1/4 | 0,4 | D 100 % | 2500 | 0,1 |
| | 2/4 | 0,5 | D 100 % | 2500 | 0,2 |
| | 3/4 | 0,4 | D 100 % | 2500 | 0,1 |
| | 4/4 | 0,6 | D 100 % | 2500 | 0,2 |
| L3A | 1/4 | 0,7 | B/C 40 %, C 60 % | 2500 | 0,3 |
| | 2/4 | 0,7 | B/C 60 %, C 40 % | 2500 | 0,3 |
| | 3/4 | 0,6 | B/C 40 %, C 60 % | 2500 | 0,2 |
| | 4/4 | 0,7 | B/C 60 %, C 40 % | 2500 | 0,3 |
| S1A | 1/4 | 1,1 | A 10 %, D 90 % | 2500 | 0,4 |
| | 2/4 | 1,2 | A 10 %, D 90 % | 2500 | 0,5 |
| | 3/4 | - ²⁾ | A 10 %, D 90 % ²⁾ | 2500 | - ²⁾ |
| | 4/4 | 0,9 | A 10 %, D 90 % | 2500 | 0,4 |
| P1A | 1/4 | - ³⁾ | - ³⁾ | 1963 | - ³⁾ |
| | 2/4 | 1,0 | C 100 % | 1963 | 0,5 |
| | 3/4 | 1,0 | C 100 % | 1963 | 0,5 |
| | 4/4 | 1,0 | C 100 % | 1963 | 0,5 |

¹⁾ Vedettävä alue oli jäänyt osin kiinni ympäristöönsä, eikä rajautunut siitä irti katkoteräveitsellä leikattaessa. Kyseinen mittaus hylättiin.

²⁾ Vetonastan epätasaisuuden vuoksi liima ei ollut kiinnittynyt nastan reunoilla kunnolla pinnoitteeseen, jolloin vetovoimaa ei reuna-alueilla saatu kohdistettua kohtisuoraan. Kyseinen mittaus hylättiin.

³⁾ Irtivetolaitetta ei saatu stabiloitua kohdan sijainnin vuoksi. Kyseinen mittaus hylättiin.

Liite 12. Tartuntavetolujuuskokeiden tulokset.

Taulukko 6 jatkuu. Tartuntavetolujuuskokeiden tulokset (Ardex Oy:n pinnoitustuotteet). Murtopintojen suhteelliset osuudet on ilmoitettu 5 prosenttiyksikön tarkkuudella. Murtumatyyppi-sarakkeen pinnoitekerrokset on esitetty liitteen 11 taulukossa 5.

| Kappale | Mittaus- kohta | Murtovoiman | | Pinta-ala (mm ²) | Murtolujuuden todellinen arvo (MPa) |
|---------|-------------------|-------------------------|------------------|---------------------------------|---|
| | | todellinen arvo (kN) | Murtumatyyppi | | |
| P2A | 1/4 | 1,2 | D 100 % | 1963 | 0,7 |
| | 2/4 | 1,8 | D 100 % | 1963 | 1,0 |
| | 3/4 | 0,7 | D 100 % | 1963 | 0,4 |
| | 4/4 | 1,0 | D 100 % | 1963 | 0,6 |
| P3A | 1/4 | - ¹⁾ | B/C 50 %, C 50 % | 1963 | - ¹⁾ |
| | 2/4 | - ¹⁾ | B/C 50 %, C 50 % | 1963 | - ¹⁾ |
| | 3/4 | 0,5 | B/C 50 %, C 50 % | 1963 | 0,3 |
| | 4/4 | 0,3 | B/C 50 %, C 50 % | 1963 | 0,2 |
| P4A | 1/4 | 0,6 | A/B 100 % | 2500 | 0,3 |
| | 2/4 | 0,6 | A/B 100 % | 2500 | 0,3 |
| | 3/4 | 0,7 | A/B 100 % | 2500 | 0,3 |
| | 4/4 | 0,7 | A/B 100 % | 2500 | 0,3 |
| M1A | 1/4 | 0,9 | A/B 100 % | 2500 | 0,4 |
| | 2/4 | 0,9 | A/B 5 %, C 95 % | 2500 | 0,4 |
| | 3/4 | 0,9 | C 100 % | 2500 | 0,4 |
| | 4/4 | 1,0 | A/B 5 %, C 95 % | 2500 | 0,4 |
| M2A | 1/4 | 0,6 | A/B 40 %, B 60 % | 2500 | 0,3 |
| | 2/4 | 0,6 | A/B 40 %, B 60 % | 2500 | 0,3 |
| | 3/4 | 0,7 | A/B 40 %, B 60 % | 2500 | 0,3 |
| | 4/4 | 0,7 | A/B 40 %, B 60 % | 2500 | 0,3 |
| R1A | 1/4 | 0,3 | A/B 5 %, B 95 % | 2500 | 0,2 |
| | 2/4 | - ¹⁾ | A/B 5 %, B 95 % | 2500 | - |
| | 3/4 | 0,3 | A/B 5 %, B 95 % | 2500 | 0,2 |
| | 4/4 | 0,3 | A/B 5 %, B 95 % | 2500 | 0,2 |

¹⁾ Murto oli niin elastinen, ettei mittarin mekaniikka tunnistanut murtohetkeä, eikä murtovoimaa saatu.

Liite 12. Tartuntavetolujuuskokeiden tulokset.

Taulukko 7 (jatkuu seuraavalla sivulla). Tartuntavetolujuuskokeiden tulokset (Betton Oy:n pinnoitustuotteet). Murtopintojen suhteelliset osuudet on ilmoitettu 5 prosenttiyksikön tarkkuudella. Murtumatyyppi-sarakkeen pinnoitekerrokset on esitetty liitteen 11 taulukossa 5.

| Kappale | Mittaus- kohta | Murtovoiman todellinen arvo (kN) | Murtumatyyppi | Pinta- ala (mm ²) | Murtolujuuden todellinen arvo (MPa) |
|---------|-------------------|--|---------------------------------|-------------------------------------|---|
| B1B | 1/4 | 0,2 | A/B 80 %, B 20 % | 2500 | 0,1 |
| | 2/4 | 0,3 | A/B 95 %, B 5 % | 2500 | 0,1 |
| | 3/4 | 0,3 | A/B 80 %, B 20 % | 2500 | 0,1 |
| | 4/4 | 0,2 | A/B 80 %, B 20 % | 2500 | 0,1 |
| B2B | 1/4 | 2,5 | A/B 10 %, B 90 % | 1678 | 1,5 |
| | 2/4 | 2,3 | A/B 10 %, B 90 % | 1678 | 1,4 |
| | 3/4 | 2,1 | A/B 10 %, B 90 % | 1678 | 1,2 |
| | 4/4 | 2,2 | A/B 10 %, B 90 % | 1678 | 1,3 |
| L1B | 1/4 | 5,1 | A 100 % | 1678 | 3,0 |
| | 2/4 | 2,9 | A 100 % | 1678 | 1,7 |
| | 3/4 | 5,6 | A 100 % | 1678 | 3,3 |
| | 4/4 | 4,2 | A 100 % | 1678 | 2,5 |
| L2B | 1/4 | 0,4 | B 100 % | 2500 | 0,1 |
| | 2/4 | 0,5 | B 100 % | 2500 | 0,2 |
| | 3/4 | 0,5 | B 100 % | 2500 | 0,2 |
| | 4/4 | 0,4 | B 100 % | 2500 | 0,1 |
| L3B | 1/4 | 2,2 | A 100 % | 1678 | 1,3 |
| | 2/4 | 3,4 | A 100 % | 1678 | 2,0 |
| | 3/4 | 4,1 | A 95 %, A/B 5 % | 1678 | 2,4 |
| | 4/4 | 4,6 | A 95 %, A/B 5 % | 1678 | 2,7 |
| P1B | 1/4 | 4,3 | A 90 %, B/C 5 %, C 5 % | 1963 | 2,2 |
| | 2/4 | 5,0 | A 85 %, A/B 5 %, B/C 5 %, C 5 % | 1963 | 2,5 |
| | 3/4 | 6,0 | A 85 %, A/B 5 %, C 10 % | 1963 | 3,0 |
| | 4/4 | 5,3 | A 95 %, C 5 % | 1963 | 2,7 |
| P2B | 1/4 | 0,5 | A/B 95 %, B 5 % | 2500 | 0,2 |
| | 2/4 | 0,5 | A/B 95 %, B 5 % | 2500 | 0,2 |
| | 3/4 | 0,5 | A/B 95 %, B 5 % | 2500 | 0,2 |
| | 4/4 | 0,5 | A/B 95 %, B 5 % | 2500 | 0,2 |

Liite 12. Tartuntavetolujuuskokeiden tulokset.

Taulukko 7 jatkuu. Tartuntavetolujuuskokeiden tulokset (Betton Oy:n pinnoitustuotteet). Murtopintojen suhteelliset osuudet on ilmoitettu 5 prosenttiyksikön tarkkuudella. Murtumatyyppi-sarakkeen pinnoitekerrokset on esitetty liitteen 11 taulukossa 5.

| Kappale | Mittaus- kohta | Murtovoiman | | Pinta-ala (mm ²) | Murtolujuuden todellinen arvo (MPa) |
|---------|-------------------|-------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---|
| | | todellinen arvo (kN) | Murtumatyyppi | | |
| P3B | 1/4 | 4,3 ¹⁾ | A 75 %, A/B 25 % ¹⁾ | 1963 | 2,2 ¹⁾ |
| | 2/4 | 3,7 ¹⁾ | A 40 %, A/B 60 % ¹⁾ | 1963 | 1,9 ¹⁾ |
| | 3/4 | 3,8 ¹⁾ | A 40 %, A/B 60 % ¹⁾ | 1963 | 1,9 ¹⁾ |
| | 4/4 | 3,8 ¹⁾ | A 25 %, A/B 75 % ¹⁾ | 1963 | 1,9 ¹⁾ |
| M1B | 1/4 | - ²⁾ | - ²⁾ | 2500 | - ²⁾ |
| | 2/4 | 0,5 | A/B 20 %, B 80 % | 2500 | 0,2 |
| | 3/4 | 0,5 | A/B 5 %, B 95 % | 2500 | 0,2 |
| | 4/4 | 0,5 | A/B 10 %, B 90 % | 2500 | 0,2 |
| M2B | 1/4 | - ³⁾ | - ³⁾ | 2500 | - ³⁾ |
| | 2/4 | 1,4 | A 5 %, A/B 95 % | 2500 | 0,5 |
| | 3/4 | 1,2 | A/B 100 % | 2500 | 0,5 |
| | 4/4 | 1,7 | A 10 %, A/B 90 % | 2500 | 0,6 |

¹⁾ Voiman ja murtotavan vaihteluun vaikuttaa puun ja vetonastan väliin leikatun uran vaihteleva syvyys, sillä murto tapahtui osittain puun koheesiomurtona.

²⁾ Vedettävä alue oli jäänyt osin kiinni ympäristöönsä eikä rajautunut siitä irti katkoteräveitsellä leikattaessa. Kyseinen mittaus hylättiin.

³⁾ Nastan kiinnitys vetolaitteeseen epäonnistui. Kyseinen mittaus hylättiin.

Liite 12. Tartuntavetolujuuskokeiden tulokset.

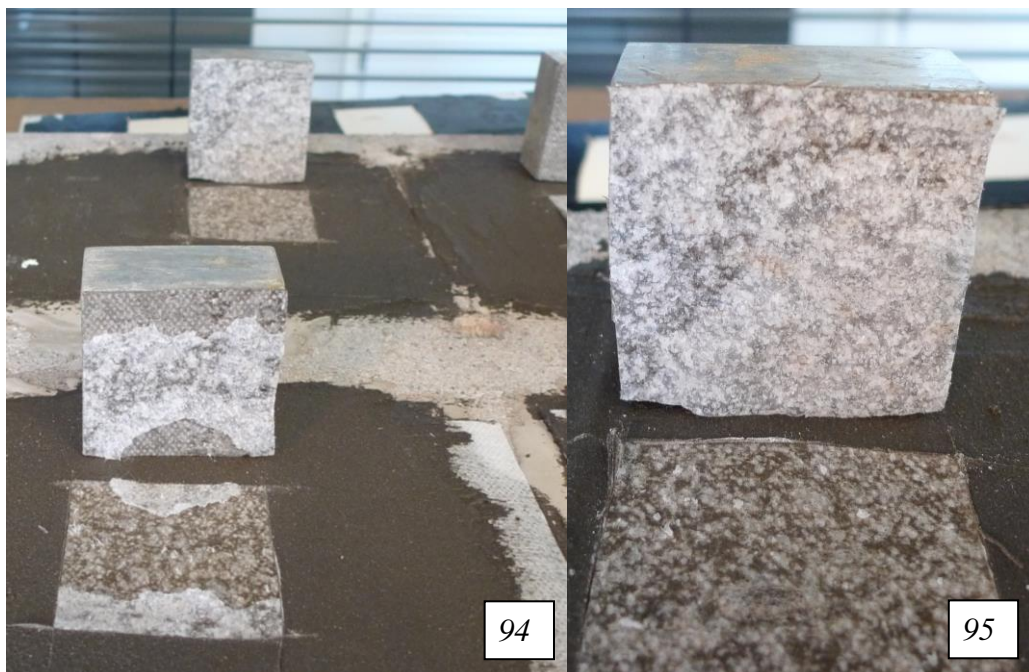
Taulukko 8. Tartuntavetolujuuskokeiden tulokset (Oy TKR-Coatings Ltd:n pinnoitus-tuotteet). Murtopintojen suhteelliset osuudet on ilmoitettu 5 prosenttiyksikön tarkkuudella. Murtumatyyppi-sarakkeen pinnoitekerrokset on esitetty liitteen 11 taulukossa 5.

| Kappale | Mittaus- kohta | Murtovoiman | | Pinta- ala (mm ²) | Murtolujuuden todellinen arvo (MPa) |
|---------|-------------------|-------------------------|---------------|-------------------------------------|---|
| | | todellinen arvo (kN) | Murtumatyyppi | | |
| B1C | 1/4 | 6,5 | A 100 % | 1963 | 3,3 |
| | 2/4 | 8,7 | A 100 % | 1963 | 4,4 |
| | 3/4 | 8,5 | A 100 % | 1963 | 4,3 |
| | 4/4 | 8,3 | A 100 % | 1963 | 4,2 |
| P1C | 1/4 | 5,4 | A 100 % | 1963 | 2,7 |
| | 2/4 | 4,0 | A 100 % | 1963 | 2,0 |
| | 3/4 | 4,8 | A 100 % | 1963 | 2,4 |
| | 4/4 | 4,7 | A 100 % | 1963 | 2,4 |
| M1C | 1/4 | 0,9 | A 100 % | 1963 | 0,4 |
| | 2/4 | 0,9 | A 100 % | 1963 | 0,4 |
| | 3/4 | 0,9 | A 100 % | 1963 | 0,4 |
| | 4/4 | 1,2 | A 100 % | 1963 | 0,6 |

Liite 12. Tartuntavetolujuuskokeiden tulokset.

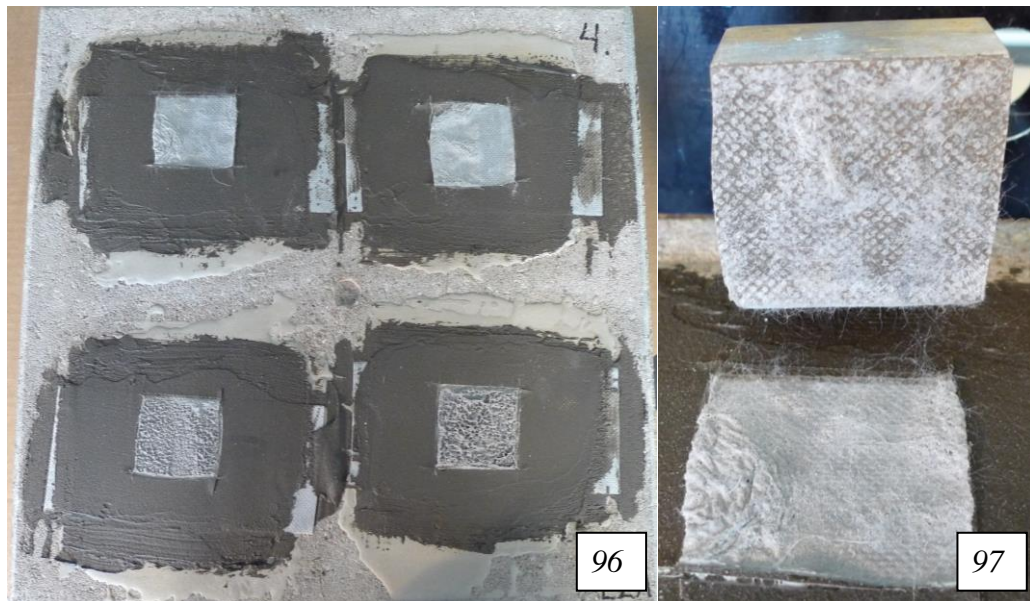


Kuva 93. Kappale B1A. Murtotapa oli 100-prosenttinen vahvistusnauhan koheesiomurto: nauhan alapuoli jäi kiinni koekappaleeseen ja yläpuoli vetonappiin. Vedon suunta oli nauhalle epäedullinen, sillä se on tehty kestämään ensisijaisesti pitkittäissuuntaista vetoa. Kappaleen B2A murtotapa oli sama. Vetoalueiden keskellä olevat reiät johtuvat timanttireikäporan keskiterästä.

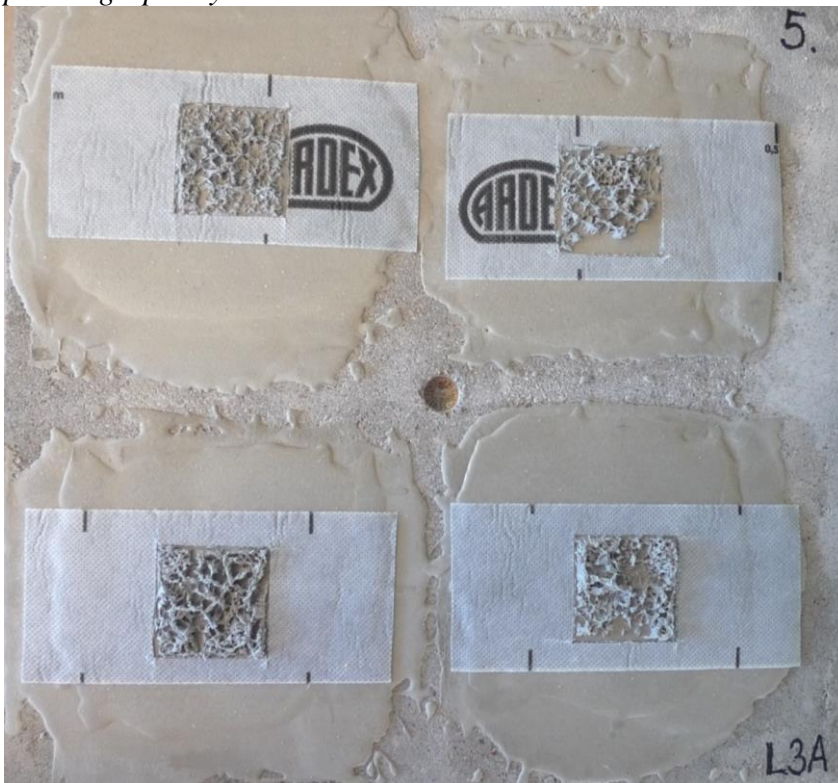


Kuvat 94 ja 95. Kappale L1A. Murtotapa oli 100-prosenttinen vahvistusnauhan koheesiomurto: ks. kuva 93.

Liite 12. Tartuntavetolujuuskokeiden tulokset.

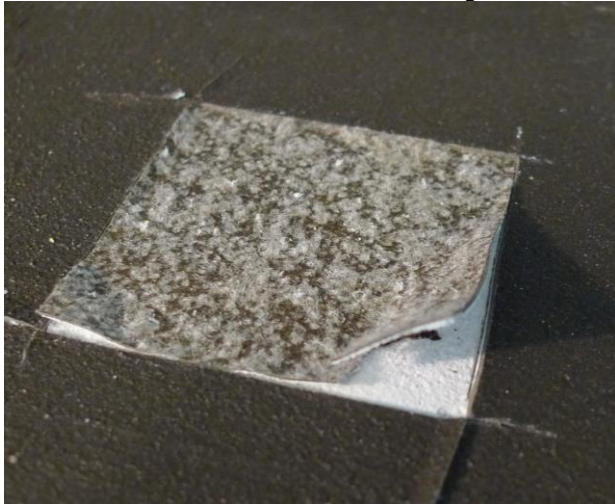


Kuvat 96 ja 97. Kappale L2A. Murtotapa oli 100-prosenttinen butyyliteipin koheesiomurto; puolessa vedoista myötäsi butyyliteipin liimapinta ja puolessa butyyliteipin kangaspäällyste.



Kuva 98. Kappale L3A. Murtotapa oli 40–60-prosenttinen alustan ja butyyliteipin välinen adheesiomurto ja 40–60-prosenttinen butyyliteipin koheesiomurto.

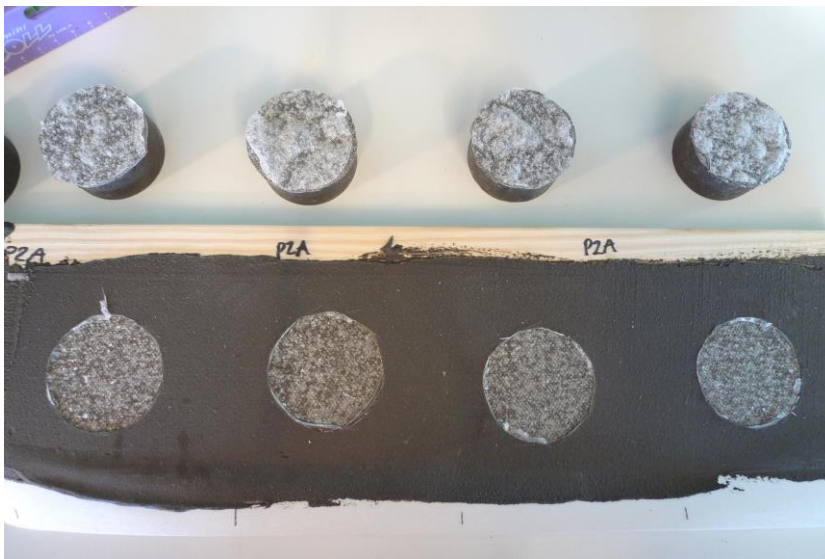
Liite 12. Tartuntavetolujuuskokeiden tulokset.



Kuva 99. Kappale S1A. Murtotapa oli 10-prosenttinen seinätasoitteen koheesiomurto ja 90-prosenttinen vahvistusnauhan koheesiomurto.



Kuva 100. Kappale P1A. Murtotapa oli 100-prosenttinen vahvistusnauhan koheesiomurto.



Kuva 101. Kappale P2A. Murtotapa oli 100-prosenttinen vahvistusnauhan koheesiomurto.

Liite 12. Tartuntavetolujuuskokeiden tulokset.



Kuva 102. Kappale P3A. Murtotapa oli 50-prosenttinen butyyliteipin ja priimeröidyn puupinnan välinen adheesiomurto ja 50-prosenttinen butyyliteipin koheesiomurto.



Kuva 103. Kappale P4A. Murtotapa oli 100-prosenttinen butyyliteipin ja priimeröimättömän puupinnan välinen adheesiomurto.



Kuva 104. Kappale M1A. Murtotapa oli 95-prosenttinen vahvistusnauhan koheesiomurto ja 5-prosenttinen maalatun puun ja vedeneristemassan välinen adheesiomurto. Yhdessä tapauksesta neljästä murtotapa oli 100-prosenttinen vedeneristemassan ja maalatun puun välinen adheesiomurto.

Liite 12. Tartuntavetolujuuskokeiden tulokset.



Kuva 105. Kappale M2A. Murtotapa oli 40-prosenttinen maalatun puun ja butyyliteipin välinen adheesiomurto ja 60-prosenttinen butyyliteipin koheesiomurto.



Kuva 106. Kappale R1A. Murtotapa oli 5-prosenttinen butyyliteipin koheesiomurto ja 95-prosenttinen butyyliteipin koheesiomurto.



Kuva 107. Kappale U1A. Muovimaton ja butyyliteipin välistä tartuntavetolujuutta ei mitattu, vaan tartuntaa tutkittiin käsin. Butyyliteippi ei lähtenyt käsin vetämällä ehjänä irti alustasta.

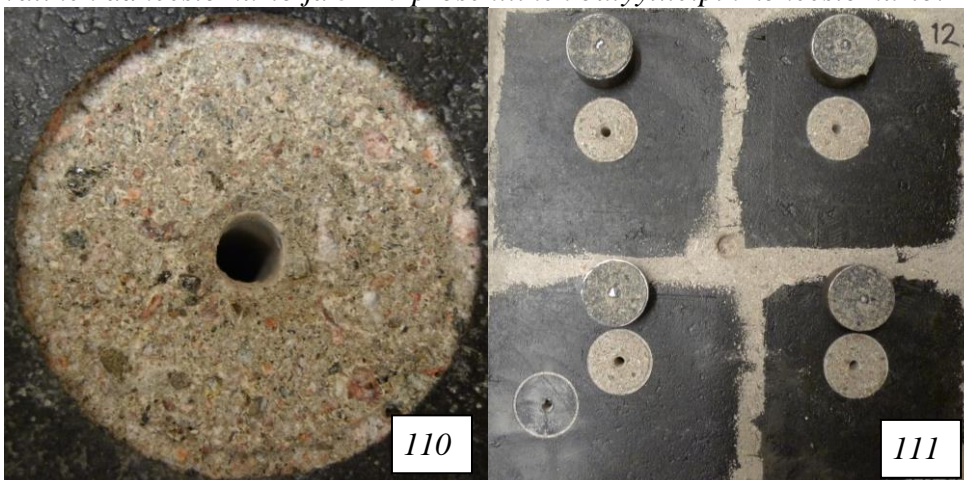
Liite 12. Tartuntavetolujuuskokeiden tulokset.



Kuva 108. Kappale H1A. Höyrynsulkumuovin ja butyyliteipin välistä tartuntavetolujuutta ei mitattu, vaan tartuntaa tutkittiin käsin. Butyyliteippi ei lähtenyt käsin vetämällä ehjänä irti alustasta, vaan osa liimasta jäi alustaan.

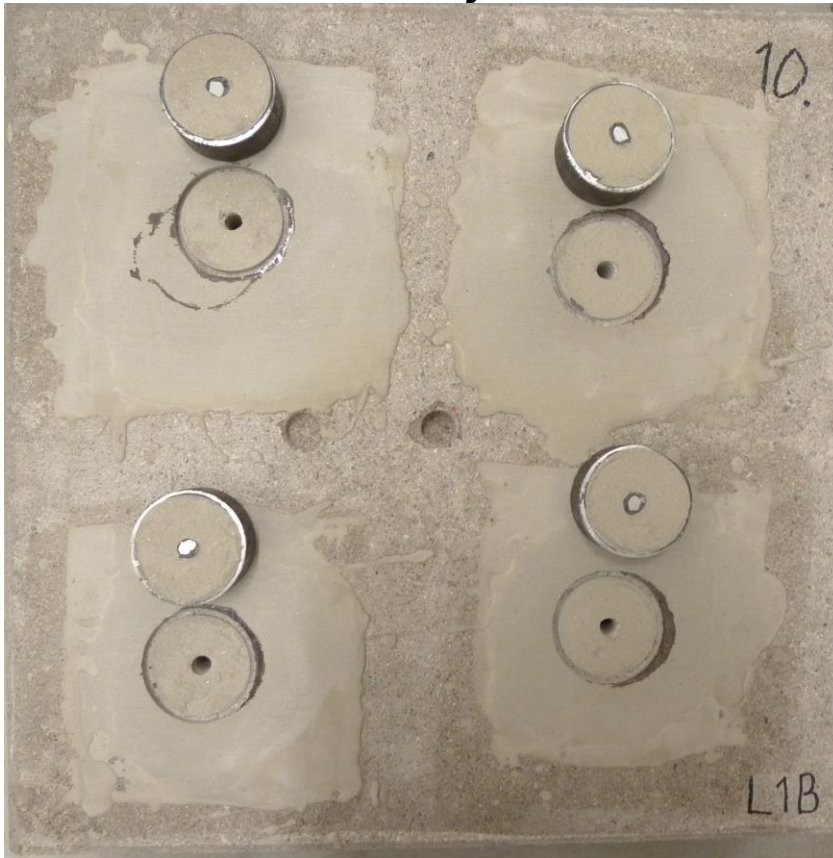


Kuva 109. Kappale B1B. Murtotapa oli 80–95-prosenttinen betonin ja butyyliteipin välinen adheesiomurto ja 5–20-prosenttinen butyyliteipin koheesiomurto.



Kuvat 110 ja 111. Kappale B2B. Murtotapa oli 10-prosenttinen Blowerproof-pinnoitteen ja betonin välinen adheesiomurto ja 90-prosenttinen betonin koheesiomurto. Vetoalueiden keskellä olevat reiät johtuvat timanttireikäporan keskiterästä.

Liite 12. Tartuntavetolujuuskokeiden tulokset.

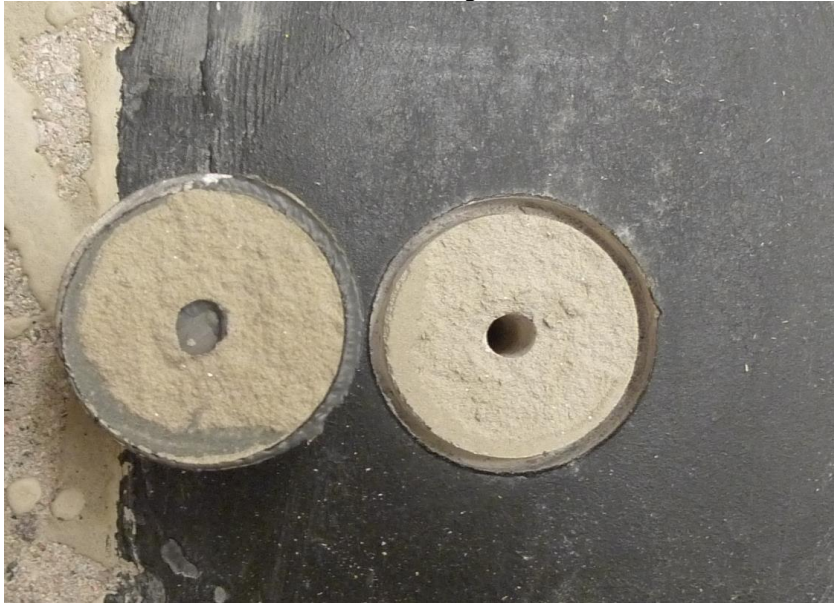


Kuva 112. Kappale L1B. Murtotapa oli 100-prosenttinen lattiatasoitteen koheesiomurto. Vetoalueiden keskellä olevat reiät johtuvat timanttireikäporan keskiterästä.

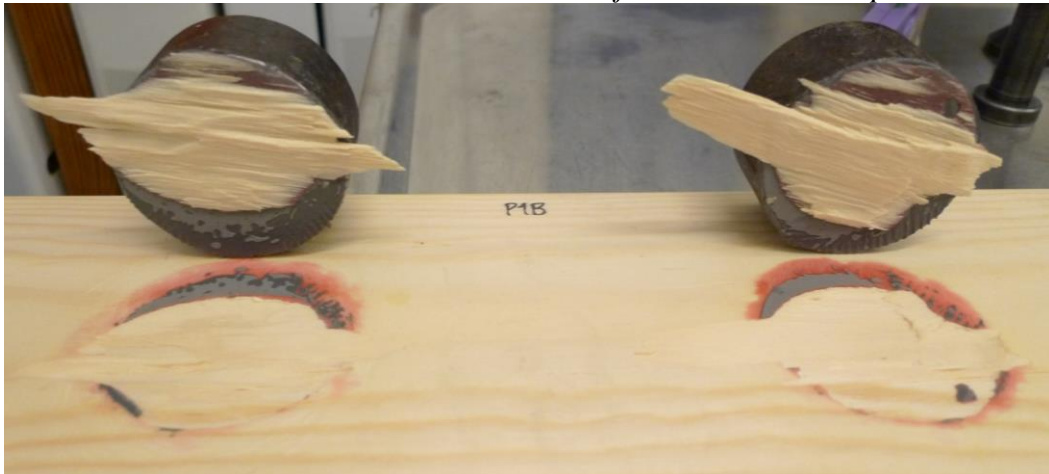


Kuva 113. Kappale L2B. Murtotapa oli 100-prosenttinen butyyliiteipin koheesiomurto.

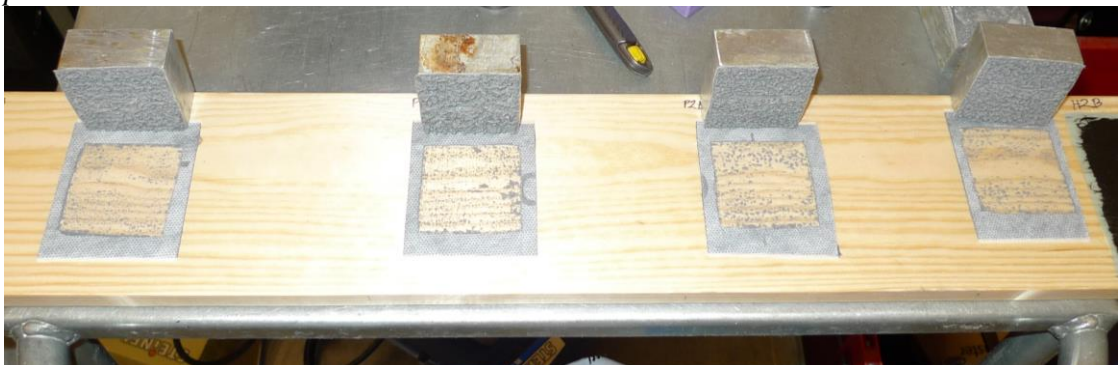
Liite 12. Tartuntavetolujuuskokeiden tulokset.



Kuva 114. Kappale L3B. Murtotapa oli 95–100-prosenttinen lattiatasoitteen koheesiomurto ja 0–5-prosenttinen Blowerproof-pinnoitteen ja lattiatasoitteen välinen adheesiomurto. Vetoalueen keskellä oleva reikä johtuu timanttireikäporan keskiterästä.

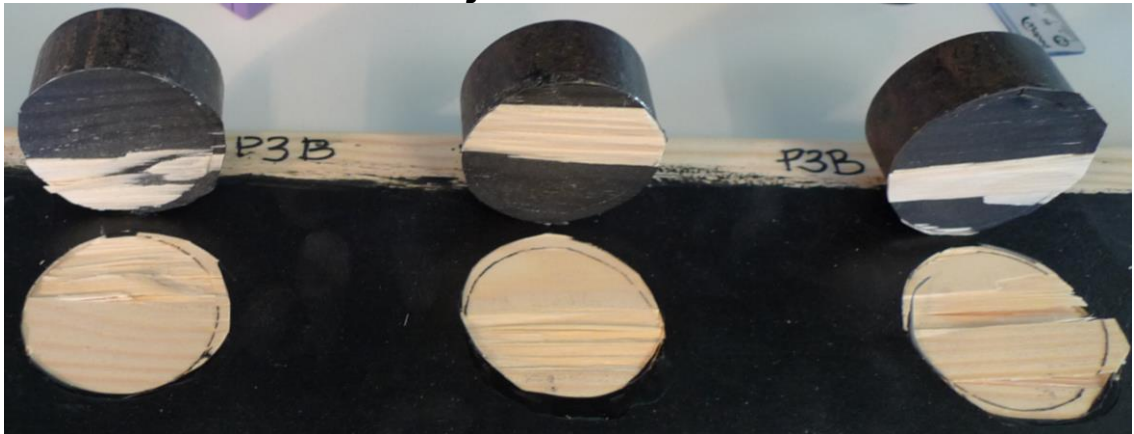


Kuva 115. Kappale P1B. Murtotapa oli 85–95-prosenttinen puun koheesiomurto, 0–5-prosenttinen puun ja PE 460 New -epoksipohjustimen adheesiomurto, 0–5-prosenttinen epoksipohjustimen ja vetonastan liimauksen välinen adheesiomurto ja 5–10-prosenttinen vetonastan liimauksen koheesiomurto.

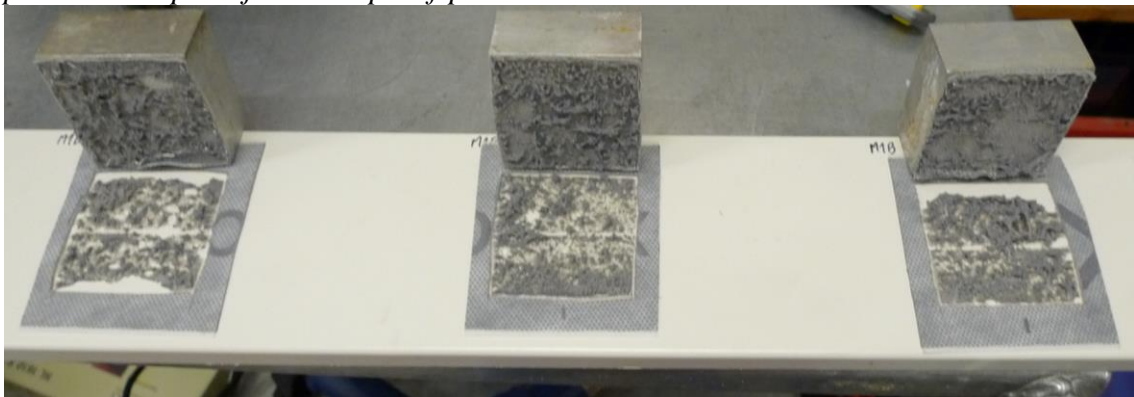


Kuva 116. Kappale P2B. Murtotapa oli 95-prosenttinen puun ja butyylliteipin välinen adheesiomurto ja 5-prosenttinen butyylliteipin koheesiomurto.

Liite 12. Tartuntavetolujuuskokeiden tulokset.



Kuva 117. Kappale P3B. Murtotapa oli puun 25–35-prosenttinen koheesiomurto ja 65–75-prosenttinen puun ja Blowerproof-pinnoitteen välinen adheesiomurto. Yhdessä tapauksesta neljästä murtotapa oli 80-prosenttinen puun koheesiomurto ja 20-prosenttinen puun ja Blowerproof-pinnoitteen välinen adheesiomurto.



Kuva 118. Kappale M1B. Murtotapa oli 5–20-prosenttinen maalatun puun ja butyyliteipin välinen adheesiomurto ja 80–95-prosenttinen butyyliteipin koheesiomurto.



Kuva 119. Kappale M2B. Murtotapa oli maalatun puun 0–10-prosenttinen koheesiomurto ja 90–100-prosenttinen maalatun puun ja Blowerproof-pinnoitteen välinen adheesiomurto.

Liite 12. Tartuntavetolujuuskokeiden tulokset.



Kuva 120. Kappale H1B. Höyrynsulkumuovin ja butyyliteipin välistä tartuntavetolujuutta ei mitattu, vaan tartuntaa tutkittiin käsin. Butyyliteippi ei lähtenyt käsin vetämällä ehjänä irti alustasta, vaan osa liimasta jäi alustaan.



Kuva 121. Kappale H2B. Höyrynsulkumuovin ja Blowerproof-pinnoitteen välistä tartuntavetolujuutta ei mitattu, vaan tartuntaa tutkittiin käsin. Blowerproof-pinnoite lähti käsin vetämällä irti höyrynsulkumuovista.

Liite 12. Tartuntavetolujuuskokeiden tulokset.



Kuvat 122ja 123. Kappale B1C. Murtotapa oli 100-prosenttinen betonin koheesiomurto.



Kuva 124. Kappale PIC. Murtotapa oli 100-prosenttinen puun koheesiomurto.



Kuva 125. Kappale MIC. Murtotapa oli 100-prosenttinen maalatun puun koheesiomurto; murto tapahtui maalin lähtiessä irti puusta.